الوحدة الأولى:قياس درجة الحرارة

(Temperature measurement)

مقدمة:

تعتبر درجة الحرارة (Temperature)من أكثر متغيرات العمليات الصناعية قياسا وتحكما وهي تعطي مقياسا لدرجة سخونة حرارة الجسم أو برودته، وهي تمثل الحالة الحرارية (Thermal state) للجسم أو المادة التي تحدد هل سيعطي حرارة أم سيكتسبها إذا وضع جسمان على اتصال.

تنتقل الحرارة من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأقل سخونة تماما كما تنتقل الماء من المستوى العالي إلى المنخفض.

يجب التمييز بين درجه الحرارة والحرارة (Heat) فالأولى تمثل "درجة حرارة الجسم"...بينما تعتبر الحرارة"كمية الحرارة في الجسم" ترتبط الكميتان معا بواسطة القانون الثاني للديناميكا الحرارية " تنتقل الحرارة من الجسم ذو الحرارة العالية إلى جسم آخر درجة حرارته منخفضة " وعاده تقاس كمية الحرارة بالسعر "Calory"، الجول"Joul" ،"BTU".

-الأسس التي تعتمد عليها قياس درجة الحرارة :

ميزان الحرارة Thermometer أو (المحرار) هو أداة تستعمل لتحديد وقياس درجة حرارة الأجسام . تم بناء موازين الحرارة بالاعتماد على تغير صفه فيزيائية للجسم عند تغير درجة حرارته . من هذه الصفات :

1- حجم الجسم.
2- طول المادة الصلبة.
3- ضغط الغاز عند ثبوت حجمه.
4- حجم الغاز عند ثبوت ضغطه.
5- المقاومة الكهربائية للموصلات.
6- لون المادة.

- مقاييس درجة الحرارة:

تعتمد مقاييس درجة الحرارة على نقاط ثابتة ومحددة. عند هذه النقاط تكون درجة الحرارة ثابتة وهي:

1- درجة تجمد الماء ice point وهي النقطة السفلى للمقياس.
2- درجة غليان الماء steam point وهي النقطة العليا للمقياس.

يتم الحصول على الدرجة الدنيا وهي درجة تجمد الماء عند تبريد وعاء من الماء المقطر تحت ضغط جوي واحد بينما يتم الوصول للدرجة العليا بغليان كمية من الماء المقطر تحت ضغط جوي واحد. تعتبر المسافة بين النقطتين السفلى والعليا هي الفترة الأساسية (Fundamental interval). وبهدف تقسيم ميزان الحرارة لأجزاء متساوية يتم استخدام عدة مقاييس منها:

1- المقياس المئوي "Centigrade" والفهرنهايتي "Fahrenheit".

استحدث العالم الألماني فهرنهايت المقياس **الفهرنهايتي** واختصاره °F في العام 1709م كما استحدث العالم السويدي **Celsius** المقياس المئوي في العام 1742م واختصاره °C . اعتمد هذان المقياسان على حقيقة علمية هي ان ذوبان الجليد وغليان الماء يحدثان على درجة حرارة ثابتة تحت الضغط الجوي.

في المقياس **الفهرنهايتي** ، نقطة ذوبان الجليد هي 32°F ودرجة غليان الماء 212°F وبين هاتين النقطتين تم تقسيم الفترة الاساسية بالتساوي الى 180 جزء .

وفي المقياس المئوي أو**Celsius** فأعتبر درجة ذوبان الجليد 0°C ودرجة غليان الماء 100°C وتم تقسيم الفترة الاساسية بالتساوي إلى 100جزء ولهذا سمي مئوي (Centi-grade) بما أن المقياسان خطيان ، فيمكن بسهوله تحويل درجة حرارة احدهما للأخر باستعمال العلاقة التالية :(Interpolation)

$$\frac{°C - 0°}{100 - 0°} = \frac{°F - 32°}{212° - 32°}$$

$$°F = \frac{9}{5}(°C) + 32 = 1.8(°C) + 32$$

2- مقياس كلفن : (Kelvin) ، ورانكن (Rankin)

قام العالم الانجليزي اللورد كلفن باستعمال هذا المقياس واختصاره (K) في العام 1848 . في هذا المقياس درجة تجمد الماء هي 273.15K ، ودرجة غليان الماء هي 373.15K وتم تقسيم الفترة الأساسية بالتساوي إلى 100 جزء كما في النظام المئوي لهذا يمكن التمويل من النظام الكلفن للمئوي حسب المعادلة التالية :

$$K = °C + 273.15$$

أما مقياس رانكن واختصاره "R" فدرجة تجمد الماء فيه 491.7 R ودرجة غليان الماء فيه 671.7 R ويشبه مقياس رانكن المقياس الفهرنهايتي حيث يقسم بالتساوي الى 180 جزء لذلك فالعلاقة بينهما :

$$R = °F + 459.7$$

يطلق على مقياسي كلفن ورانكن (المقاييس المطلقة) أو(Absolute scales) وذلك لأنهما يستخدمان الصفر المطلق كنقطه من النقاط المرجعية لهما (النقطة الدنيا) وبجدر بالذكر بأن نقطة الصفر المطلق لم يتم الوصول لها مخبريا بل بواسطة الاستقراء على منحنى (P,T) للغازات عند ثبوت حجمها.

وتساوي درجة الصفر المطلق :

(0 k) تساوي $-273.15°C$

(0 R) تساوي $-459.69°F$

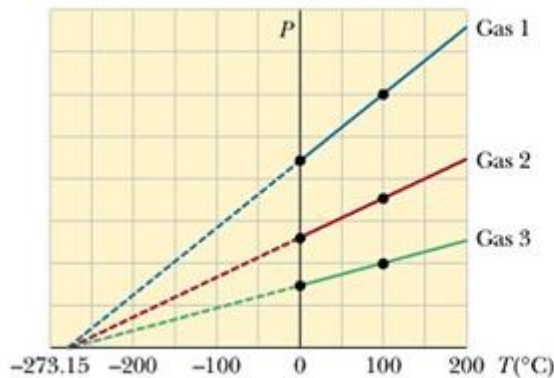



Figure (1) Pressure versus temperature for three dilute gases. Note that, for all gases, the pressure extrapolates to zero at the temperature −273.15°C.

- أسئلة :

1- إذا علمت أن $\Delta R = \Delta°F$, $\Delta k = \Delta°C$ أثبت أن $\Delta°C = \frac{5}{9}\Delta°F$
2- عندما تكون درجة حرارة الجو $50\ °F$ ما مقدارها $°C$, k؟
3- تم تسخين غلاية من الماء من $25°C$ الى $80°C$ ، ما مقدار التغير في درجة الحرارة ΔT على مقياس كلفن والفهرنهايتي؟

$$\Delta°C = 80 - 25 = 55°C = 55K$$

$$\Delta°F = \frac{9}{5}\Delta C = 99°F$$

- بعض النقاط المرجعية لهذا المقياس : (نميز تجمد وغليان الماء):
  1- درجة اتزان للهيدروجين الثلاثي.
  2- الدرجة الثلاثية للأكسجين .
  3- درجة تجمد الذهب .

- أجهزة قياس درجة الحرارة "Thermometers"

كما سبق وذكر ، فان مجموعة كبيرة من الثيرمومترات قد صنعت بناء على صفة فيزيائية للمادة متغيرة بتغير درجة الحرارة وتم تصنيفها كالآتي:

1- موازيين الحرارة التمددية *(Expansion Thermometers)*
2- موازيين الحرارة المعدنية *(Filled-system thermometers)*
3- أجهزة قياس الكهربائية *(Electrical Temperature thermometers)*
4- قياس درجات الحرارة المرتفعة *(Pyrometers)*

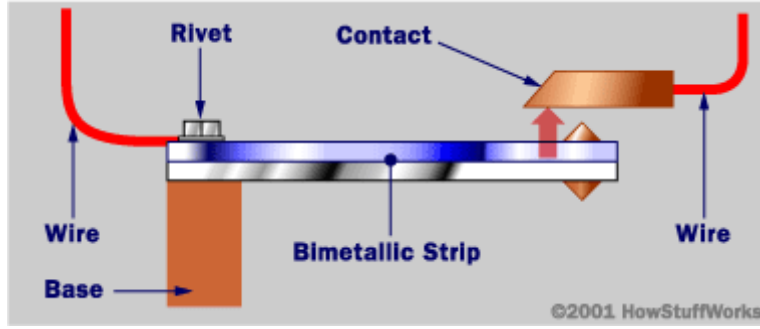
- موازيين الحرارة التمددية:

تصنف هذه المجموعة حسب طبيعة أو حالة المادة التي تتمدد ، فمثلا :

1- إذا كانت المادة صلبة فيكون ميزان الحرارة (ثنائي المعدن).
2- إذا كانت المادة سائلة فيكون ميزان الحرارة الزجاجي (سائل – في – زجاج).
3- إذا كانت المادة غاز فيتم تصنيفها في الفئة الثانية (موازيين الحرارة المعدنية).

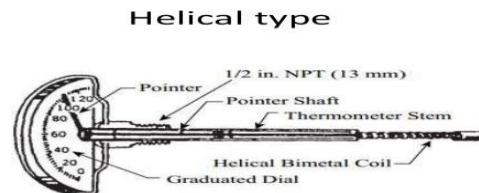
- موازيين الحرارة ثنائية المعدن (Bimetallic Thermometer)

يعتمد هذا الميزان على ظاهرة تمدد أو تقلص المعدن بتغير درجة حرارته ؛ ويسمى مقدار الزيادة في الطول لكل درجة حرارة بمعامل التمدد الحراري **(Expansion of Thermal Coefficient)**

واستغلت هذه الميزة لصنع مقاييس ثنائية المعدن لان معامل التمدد الحراري تختلف من معدن لآخر.

الشكل (2) ثيرموميتر ثنائي المعدن

يبين الشكل أعلاه ؛ شريحة ميزان الحرارة ثنائي لمعدن حيث يتكون من شريحتين (شريطين) معدنيتين مستقيمتين قد لحمتا مع بعضهما البعض وعند تسخينهما فأنهما يستطيلا وبمقدارين مختلفين يعتمد على معامل تمددها الحراري مما يؤدي إلى انثناء الشريحة نحو المعدن ذو المعامل الحراري الأقل. وحيث يكون احد أطراف الشريحة مثبتا فان الطرف الآخر سينثني ويعتمد مقدار هذا الانثناء على عدة عوامل فهو يتناسب طرديا مع طول الشريحة وكذلك مع التغير في درجة الحرارة ويتناسب عكسيا مع سماكة المعدن.يتم عاده زيادة حساسية ميزان الحرارة عن طريق زيادة الطول للشرائح المعدنية وللتغلب على مشكلة حجم ميزان الحرارة فيتم صنع الشرائح بحيث تكون ذات أطوال كبيرة وحجم صغير مثل الشكل الحلزوني (SPIRAL) كما في الشكل التالي :

الشكل (3) ميزان الحرارة ثنائي المعدن حلزوني الشكل

والشكل اللولبي *(Helical)* كما في الشكل التالي :

الشكل (4) ميزان الحرارة ثنائي المعدن لولبي الشكل

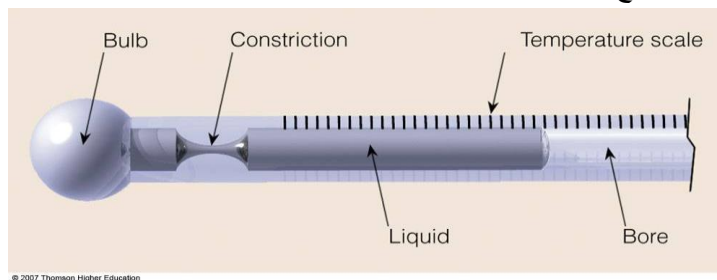
تستخدم ميزان الحرارة ثنائية المعدن بكثرة في احهزة التحكم من نوع *(ON\OFF)* في الأفران والمجففات الصناعية ، حيث تستخدم الشرائح ثنائية المعدن لوصل أو فصل تلامسات كهربائية عد تجاوز درجة الحرارة قيمة معينة زيادة أو نقصان.

- مميزات ميزان الحرارة ثنائية المعدن *(Bimetallic)*:
  1- رخيصة الثمن.
  2- سهلة القراءة والاستعمال.
  3- صلادتها في العمل.
  4- سهولة تركيبها وصيانتها.
  5- دقتها مقبولة مقارنة بسعرها.
  6- تغطي مجالا معقولا من درجات الحرارة$(-75°c - 540°c)$

- مساوئ ميزان الحرارة ثنائي المعدن :
  1- تقل كفاءة الثيرموميتر عند درجات الحرارة المنخفضة جدا والعالية جدا أكثر من $600°C$.
  2- الحاجة الى إعادة معايرة الثيرموميتر بسبب الاهتزازات والاصطدامات التي يتعرض لها الميزان بسبب كثر الاستعمال.
  3- اقل دقة من الثيرموميتر الزجاجي الزئبقي.

- موازيين الحرارة الزجاجية (الزئبقية) :

وتسمى أيضا ميزان الحرارة (سائل- في –زجاج) والسائل المستخدم هو الزئبق أو الكحول.
يتكون ميزان الحرارة الزجاجية *(Liquid – in –glass thermometer)* من أنبوب زجاجي شعري في أسفله مستودع زجاجي ويوجد فيه سائل يملأ الحجرة وجزء من الأنبوب الشعري .
عادة يكون هذا السائل الزئبق او احد المركبات العضوية (الكحول) . يعتمد مبدأ عمل هذه الموازيين على تمدد السائل بالحرارة حيث يرتفع داخل الأنبوب الشعري فيتم تحديد درجة الحرارة بقراءتها من التدريج مباشرة .

يتجمد الزئبق عند درجة حرارة $-39°C$ ولذلك يتم استخدام الكحول لقياس درجات الحرارة المنخفضة ولكنه يغلي على درجة حرارة $85°C$ لذلك لا يصلح لقياس درجات الحرارة المرتفعة . بشكل عام تستعمل هذه الثيرمومترات لقياس درجات الحرارة من $(-120°C - 320°C)$ ولكن باستخدام الزئبق يمكن قياس درجات حرارة تصل $600°C$ وذلك بشحن ساق ميزان الحرارة بغاز N_2 المضغوط *(30-300 psi)* مما يمنع تبخر أو غليان الزئبق .

الشكل (5) ميزان الحرارة زجاجي

- **مميزات ميزان الحرارة الزجاجي :**

1- بسيط الاستعمال .
2- دقيق ومباشر وسريع الاستجابة .
3- قليل التكلفة .
4- يستعمل في خزانات السوائل المفتوحة، الغلايات، على خطوط البخار وانابيب الهواء .
5- يغطي مجالا مقبولا من درجات الحرارة ($(-120℃ - 320℃)$.

- **سلبياته :**

1- سهولة الكسر .
2- لا يمكن وصله بأجهزة التحكم الآلي .
3- لا يقيس درجات الحرارة أكثر من $600℃$ بسبب تأثر الزجاج وتشوة حجم المستودع .
4- بطئ الاستجابة

- موازيين الحرارة المعدنية:

وسميت بهذا الاسم لانها تتكون من اجزاء معدنية ولكنها تضم مجموعة من الثيرمومترات المختلفة من حيث مبدأ العمل .

- **ميزان الحرارة الغاز** ***"Gas Thermometer"*** **:**

يعتمد هذا الميزان في عمله على قانون الغاز المثالي الذي ينص على ان ضغط الغاز يزداد بزيادة درجة الحرارة إذا حافظنا على حجمه ثابتا، $P \propto T$.

يطلق على هذا الميزان اسم آخر هو **(ميزان الحرارة الممتلئ بالغاز)** ***"Gas – filled TH"***، ويتكون من مستودع معدني وأنبوب شعري من الفولاذ الذي لا يصدأ ***"Stainless steel"*** وأنبوبة بوردن ***"Bourdon tube"***. يتم تعبئة المستودع والأنبوب الشعري وبوردن بغاز خامل (عادة $\mathbf{N_2}$ لأنه رخيص وخامل) ثم يلحم النظام كاملا. وعند القياس يوضع المستودع في الوسط المراد معرفة درجة حرارته.

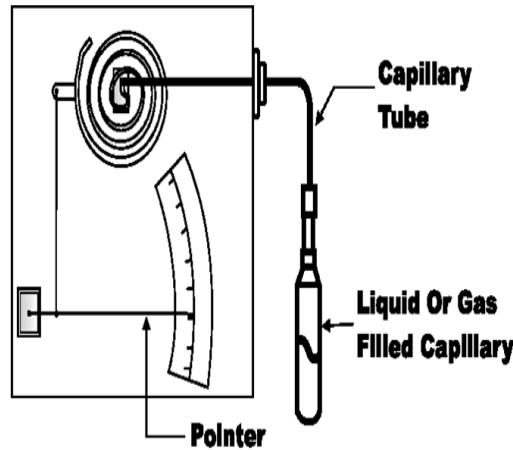
عند زيادة درجة الحرارة يزداد ضغط الغاز ويتمدد وتتحرك أنبوبة بوردن معطية مقدار درجة الحرارة مباشرة على مؤشر درجة الحرارة .

- **مميزاته :**

1- غير قابل للكسر .
2- سهل الاستعمال وقراءة الحرارة .
3- دقته في القياس أعلى من ميزان الحرارة الزجاجي بنفس حجم المستودع وشكله .
4- يقيس درجات الحرارة ($(-268℃ - 760℃)$.
5- سريع الاستجابة من (*4-7* ثواني فقط) .

- **سلبياته :**

1- حجم المستودع كبير .
2- غاز النيتروجين المستعمل لا يصلح عند درجات حرارة أكثر من $\mathbf{427℃}$ لانه يتفاعل مع *"Steel"*. ولا يتصرف كغاز مثالي عند درجات الحرارة المنخفضة لذلك يستعمل بدلا منه غاز الهليوم ***He***.

- يمثل الشكل أدناه ميزان الحرارة المعدني يمكن أن يكون مملوء بغاز أو سائل :

الشكل (6) ميزان الحرارة المعدني

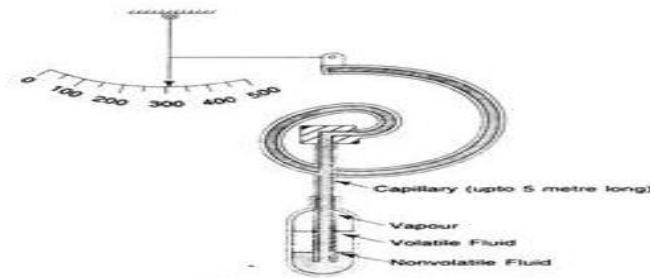
- **ميزان الحرارة تغير الحالة :** ***(Change of state)***

من المعلوم بأن العناصر والمركبات الكيميائية النقية تتغير حالتها من مادة صلبة الى سائلة أو من سائلة إلى غاز ... ويحدث هذا التغير عند درجة حرارة ثابتة **(Fixed Temperature)** ولهذا يمكن الاستفادة من هذه المعلومة كطريقة لقياس الارتفاع في درجة الحرارة . هنالك حالتان :

1- **الانصهار (Fusion):** وتتحول فيه المادة من صلبة الى سائلة .
أكثر التطبيقات العلمية في صناعة السيراميك والفولاذ وعمليات اللحام .
يستعمل المخاريط الحرارية *(Parametric Cones)* لهذا الغرض ويقيس درجات الحرارة المرتفعة جدا $(650 - 2000)°C$. والمخروط الحراري هو عبارة عن هرم صغير مصنوع من مادة سيراميكية تنصهر وتنحني عند درجة حرارة معينة ويمكن مراقبتها من خلال فتحة صغيرة تسمى الرؤيا (spyhole)

2- ***التبخر*** **(Evaporation):** وتتحول فيه المادة من سائل الى بخار . ويعمل ثيرموميتر ضغط البخار على هذا المبدأ.

- **ميزان الحرارة ذات ضغط البخار *(Vapor Pressure Thermometer)*.**

يعتبر هذا النوع من الموازيين الممتلئة (Filled Thermometer) ولكن في هذا الميزان، يعبأ المستودع جزيئا بالسائل (ماء، تولوين، وغيرها من المركبات العضوية*)* بينما يمتلئ الأنبوب الشعري المعدني وأنبوبة بوردن بالبخار .

الشكل (7)ميزان المعتمد على الضغط البخاري

Eng. Raeda H. Tashtoush

في هذا النظام يتبخر جزء من السائل خلال العملية، يعتمد مبدأ عمل ميزان الضغط البخاري أو ضغط البخار على قانون دالتون للغازات الذي ينص على أن ضغط البخار المشبع للسوائل يعتمد على درجة الحرارة .

عندما ترتفع درجة الحرارة تبدأ عملية التبخر وتتكون أبخرة داخل الأنبوب الشعري وبوردون، ويستمر السائل بالتبخر حتى يصبح ضغط البخار مساويا لضغط النظام و عندها يتوقف الغليان.

نتيجة لتغير الضغط داخل الميزان تنفرد أنبوبة بوردن إذا زاد الضغط وتلتف إذا قل . وتظهر هذه الحركة على المؤشر المرتبط به معطيا درجة حرارة النظام .

- **حسناته :**

1- حساسية مرتفعة عند درجات الحرارة المرتفعة .
2- يقيس درجات الحرارة حتى $343°C$ والمنخفضة حتى $-184°C$.
3- يستخدم في الصناعة لقياس درجات الحرارة عن بعد .
4- سريع الاستجابة من (4-5) ثواني .

- **سيئاته :**

1- الانبوب الشعري طويل .
2- التدريج غير خطي بسبب العلاقة بين ضغط البخار ودرجة الحرارة للمادة النقية (علاقة آسية).

- **الطرق الكهربائية لقياس درجة الحرارة.(Electrical temperature Measurement)**
- هناك ثلاثة أجهزة لقياس درجة الحرارة بالطرق الكهربائية والمستخدمة بكثرة في الصناعة :

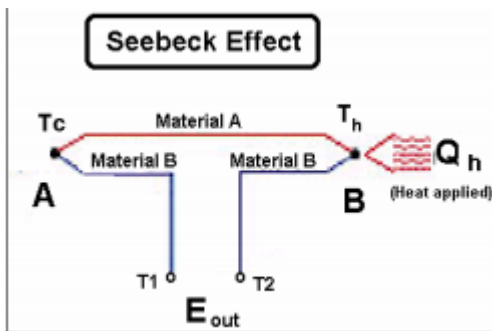
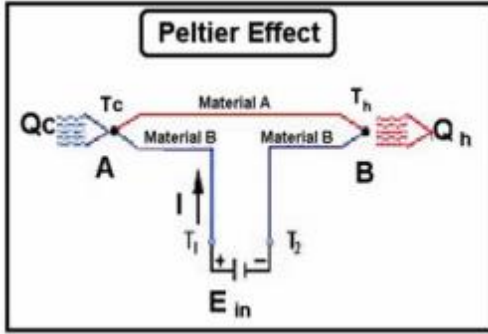
1- موازيين الازدوجات الحرارية . (Thermocouples)
***2-* موازيين المقاومة الكهربائية *.* (Resistance Thermometers)**
***3-* موازيين أشباه الموصلات (الثيرموستر) *.* (Thermister)**

- **موازيين الازدواجات الحرارية .(Thermocouples)**

تعتبر الازدواجات الحرارية من أكثر وأشهر أنواع الأجهزة الكهربائية، يقوم الازدواج الحراري على عدة مبادئ أو ظواهر في عمله، وهي :

1- ظاهرة سيبيك *(Seebeek effect)*

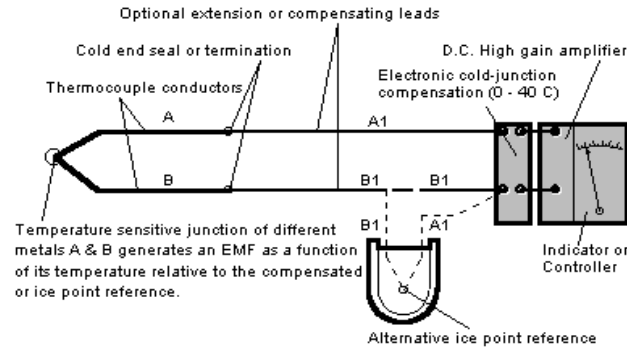
لاحظ العالم سيبيك في العام 1821 وجود دوائر كهروحرارية عند دراسة التأثيرات الكهرومغناطيسية للمعادن . وجد أن ربط سلكيين معا من معدنيين مختلفين لتشكيل دائرة مغلقة تسبب بمرور تيار كهربائي في هذه الدائرة وكذلك وجد فرق في درجة الحرارة بين الطرفين النهائيين ووجد أن اتجاه ومقدار فرق الجهد المتولد يعتمد على :

1- درجة حرارة نقاط الاتصال (Ta, Tb)
2- نوع معدن الازدواج الحراري .

- **ظاهرة بلتير *(Peltier effect)***

اكتشف الفرنسي جان بليتر في العام 1843 انه عندما يمر تيار كهربائي في نقطة اتصال بين معدنيين فانه سيتم إطلاق أو امتصاص حرارة، وعندها يكون اتجاه التيار مماثلا لتيار سيبيك (ساخن - بارد) فان الحرارة تمتص على نقطة الاتصال الساخنة وتشع (تطلق) على نقطة الاتصال الباردة. وتعتبر هذه الظاهرة الأساس لعمليات التبريد /التسخين الكهروحرارية .

- **ظاهرة ثومسون *(Thomson effect)***

وتنص بأن سرعة التيار كهربائي في سلك مفرد فيه تدرج في درجة الحرارة، فأن كميه من الحرارة ستنطلق من المحيط الخارجي عندما ما يكون اتجاه التيار من الطرف الساخن إلى البارد، أما إذا كان اتجاه التيار من الطرف البارد للساخن فيمتص السلك حرارة من المحيط الخارجي حوله .

بناء على هذه الظواهر يمكن تعريف الازدواج الحراري *(Thermocouple)* :
"عباره عن سلكيين من معدنيين مختلفين متصلين معا . تتولد دافعه كهربائية عند تسخين إحدى الطرفين ويمكن الكشف عن *emf* بواسطة مقياس الجهد.
توضع نقطة القياس ***hot junction*** في الوسط المراد قياس درجة الحرارة بينما النقطة المرجعية أو الباردة ***reference*** هي الطرف الحر والذي يوصل عادة بجهاز قياس الجهد.

الشكل (8) الأزدواج الحراري

تزداد قيمة *emf* للازدواج الحراري بزيادة الفرق بين درجة حرارة نقطتي الاتصال . ويتم تحويل قيمة *emf* الى ما يكافئها من درجة حرارة بواسطة جداول خاصة تزود من المصنع بالاعتماد على نوع الازدواج الحراري .

- **في المختبر :**

تستخدم ازدواج حراري لقياس درجة حرارة الماء في السخان الكهربائي وقيمة *"emf "* الناتجة في دائرة الازدواج الحراري.

- **قانون درجة الحرارة المتوسطة *(Law of Intermediate Temperature)***

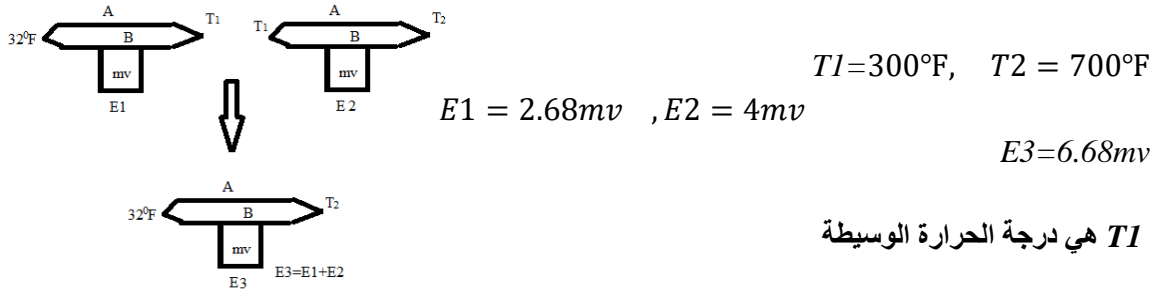
ينص على أن المجموع الجبري للقوة الدافعة الكهربائية *emf* لازدواجين حراريين ، الاول حرارة طرفه الأول 32°F(0°C) والثاني $T1$ بينما الازدواج الثاني حرارة طرفه الأول $T1$ والطرف الثاني $T2$، يساوي القوة الدافعة الكهربائية لازدواج واحد حرارة طرفه الأول 32°F والثاني $T2$. تسمى $T1$ درجة حرارة متوسطة أو درجة حرارة وسيطة.

مثال : **

$T1=300°F, \quad T2 = 700°F$

$E1 = 2.68mv \quad , E2 = 4mv$

$E3=6.68mv$

***T1* هي درجة الحرارة الوسيطة**

يستفاد من هذه الحرارة في معايرة الأجهزة للتغلب على تغيرات درجة *Reference* أو الإسناد (المرجعية).

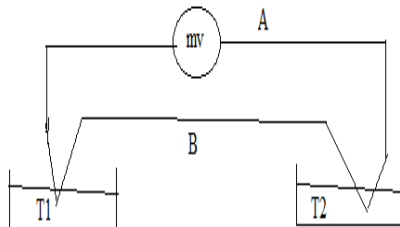
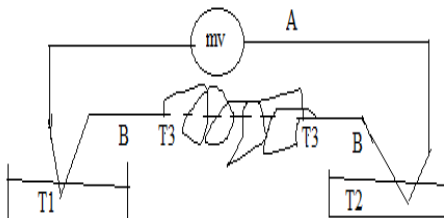
- **قانون المعادن البسيطة *(Law of intermealiate metals)***

ينص هذا القانون على أن إضافة معدن ثالث (او أكثر) للازدواج الحراري لا يؤثر على قيمة القوة الدافعة الكهربائية له ما دامت درجة حرارة الاتصال مع المعدن الثالث هي نفسها . ويسمى المعدن الوسيط يستفاد من هذا القانون عند قياس درجة حرارة وحدات صناعية بعيدة عن غرفة التحكم.
كما يستفاد منه عند توفير أسلاك الازدواج الحراري غالية الثمن والتي قد لا تتوفر أحيانا .

- مثال (1) :

$T1 = 98℃$

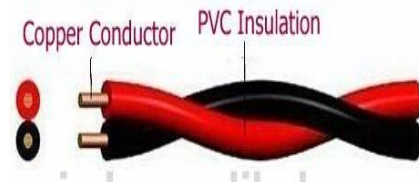
$E=3.15mv$

وعند وضع معدن وسيط عند درجة حرارة وسيطة $T3= 25\ ^0C$

$E=3.15mv$

- **قانون جمع الازدواجات (Law of Algebraic sum of Thermocouples)**

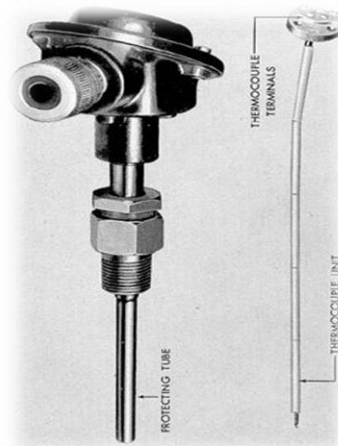
ينص على آن إذا تكونت دائرة الازدواج الأول من معدنيين (C,A) وبجهد **E1** دائرة الازدواج الثاني متكونا من المعدنيين *(B, C)* وعلى نفس درجة الحرارة وبجهد **E2**. و إذا تشكلت دائرة ازدواج من *(B, A)* وعند درجتي حرارة نفسهما *(T1, T2)* فان الجهد الكهربائي المتولد يساوي المجموع الجبري لجهد الدائرتين *E1, E2*.

- أنواع الازدواجات الحرارية :

1- الازدواج الحراري المخبري: وهو عبارة عن سلكيين معدنيين مختلفين ملحومين *(Welded)* معا في نقطة واحدة .

يغطي السلكيين بطبقة بلاستيكية عازلة ، يتم معايرة الازدواج من جداول خاصة تزود بها الشركة الصانعة.

عند قياس توضع نقطة اللحام في نقطة قياس الحرارة (سخان، مروحة، ....) وتقرأ درجة الحرارة والجهد الكهربائي .

2- الازدواج الحراري الصناعي :

يتكون من الاسلاك المعدنية في نقطة لحام، انبوب حماية، أسلاك توصيل و أداة لتسجيل القراءة *(E, T)* أو للتحكم .

الشكل (9) الأزدواج الحراري الصناعي

تستخدم الأنابيب لحماية الازدواج الحراري من تقلبات الطقس، السوائل الآكلة، الأخطار الميكانيكية وتغيرات الضغط وغالبا ما تكون رقيقة بحيث لا تؤثر على دقة القياس وسرعة الاستجابة.

- **خصائص الازدواجات الحرارية :**

يجب أن يتوفر في معادن الازدواجات الحرارية الخصائص التالية :

1- العلاقة بين درجة الحرارة والقوة الدافعة الكهربائية علاقة خطية طردية .
2- يجب أن يكون تغير *(emf)* لكل درجة حرارة تغيرا ملحوظا ويسهل الكشف عنه .
3- أن تكون مادة المعدن متينة فيزيائيا وثابتة كيميائيا .
4- أن تكون خصائص الازدواج ثابتة سواء ارتفعت درجة الحرارة أو انخفضت .

5- أن يكون رخيصا ومتوفرا في السوق .

- **المواد الداخلة في تركيب الازدواج الحراري .**

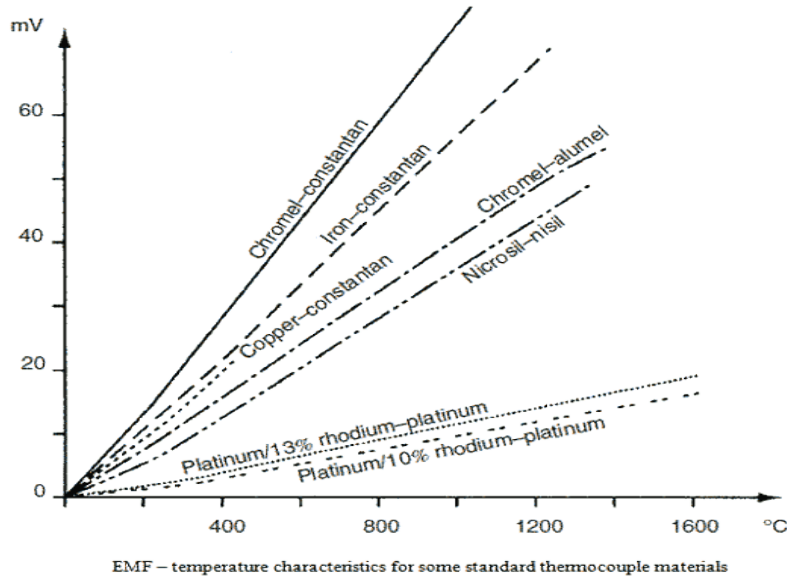
أكثر المعادن المستعملة هي البلاتين، النحاس، النيكل والحديد. أما السبائك فهي:

1- الكرومل (*90%* نيكل، *10%* كروم).
2- كونتستان (*40%* نيكل، *60%* نحاس تقريبا).
3- الألوميل (*95%* نيكل، *5%* المنيوم وسيلكون ومنغنيز وحديد).

- أما أشهر أنواع الازدواجات الحرارية فهي :

1- نحاس /كونتستان ويقيس.(-250 °C – 400 ^{0}C)
2- حديد/كونتستان ويقيس(-200°C $-$ 850°C$-$).
3- كرومل/الوميل ويقيس(-200 °C $-$ 1200°C$-$).
4- كرومل/كونتسان ويقيس(-270 °C $-$ 870°C$-$).
5- بلاتين/بلاتين-روديوم ويقيس(-18 °C $-$ 1740°C$-$).

- هنالك جداول معيارية ودقيقة تصدرها الشركات الصانعة للازدواجات الحرارية عند معايرتها، يذكر فيها مقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند درجات حرارة معينة ومقدار درجة الحرارة الطرف القياسي *(Reference junction)* والذي يختار عادة *(emf)* مساويا للصفر *(0 mv)* وهي الماء عند درجة الصفر المئوي (0°C).
- اما العلاقة بين *(emf)* ودرجة الحرارة لعدة ازدواجات حرارية فهي كما في الشكل التالي وهي طردية غير خطية :

EMF – temperature characteristics for some standard thermocouple materials

- تستخدم الازدواجات الحرارية لقياس درجة الحرارة عند نقطة واحدة وذلك بتثبيت النقطة المرجعية *(reference)* أو الطرف البارد على درجة حرارة الصفر المئوي (0°C) والطرف الساخن يقيس حرارة الوسط.

كما تستخدم الازدواجات الحرارة لقياس فرق درجة الحرارة ΔT بين نقطتين معا وذلك باستخدام ازدواجين حراريين. فعندما يتولد فرق الجهد في الدائرة سيكون مكافئا لفرق الحرارة بينهما ويتم استخراج القيم من جداول المعايرة.

- **توصيل الازدواجات الحرارية على التوازي *(Parallel)***

عند الحاجة لقياس درجة الحرارة المتوسطة *(average temp)* على طول فرن آو أنبوبة آو قناة، يمكن استعمال عدد من الازدواجات الحراري موصلة على التوازي.

مقدار فرق الجهد المقاس يكون مساويا لمتوسط فروق الجهود لكل الازدواجات بمعنى :

$$Tav=\frac{T1+T2+\cdots+Tn}{N} \quad (1)$$

$$Eav=\frac{E1+E2+\cdots+En}{N} \quad (2)$$

حيث N : عدد الازدواجات الحرارية .

- مثال : المجففات، (شركة الاسمنت).
لمزيد من الدقة في القياس لا بد أن تكون مقاومة الازدواجات الحرارية وأسلاك التوصيل متشابهة.

- **توصيل الازدواجات الحرارية على التوالي *(Series)***

يتم عادة توصيل مجموعة من الازدواجات الحرارية على التوالي لزيادة التيار وهذا يعرف باسم *Thermopile* أو "الكومة الحرارية".

في هذه الحالة:

$$E=E1+E2+....En \quad (3)$$

$$T=T1+T2+....Tn \quad (4)$$

وتمتاز هذه التوصيلة بالدقة والحساسية العالية.

- في المختبر :
تجربة التوصيل على التوال والتوازي .
باستخدام *3* ازدواجات حرارية (نحاس/كونسستنتان) لقياس درجة حرارة وجهد كل من سخان الماء، الثيرموس وحرارة اليد .

مثال: وجدت القراءات التالية (بشكل منفصل لكل ازدواج حراري).

النوع	درجة الحرارة ℃	*(mv) emf*
سخان الماء	*50*	*0.035*
الثيرموس	*10*	*0.020*
اليد	*22*	*0.030*

أوجد القوة الدافعة الكهربائية للمجموعة إذا تم توصيلها على التوازي وعلى التوالي أوجد أيضا درجة الحرارة الكلية في الحالتين .

- **مميزات الازدواجات الحرارية .**
  1. قلة الثمن .
  2. الصلابة .
  3. سهولة الاستعمال .
  4. يقيس مدى واسع من تغيرات الحرارة $-270℃$ حتى $2800℃$.
  5. دقة عالية .
  6. لا يحتاج إلى قنطرة كهربائية كما في ثيرمومترات المقاومة .

7- يقيس عبر مسافات طويلة .
8- استجابة أسرع من ميزان الحرارة الزئبقي .

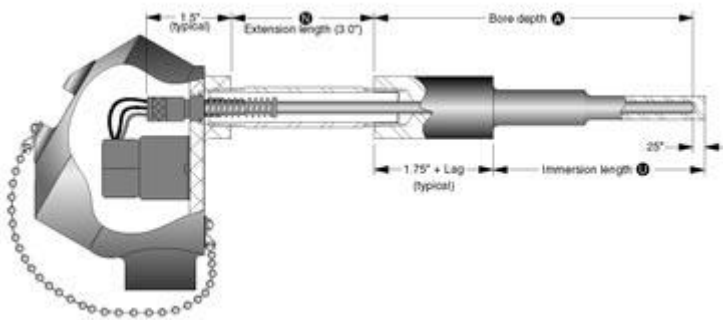
- **مساوئ الازدواجات الحرارية :**

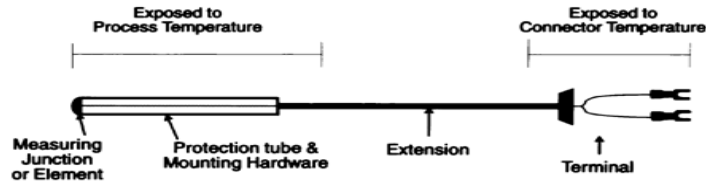
1- لا يمكن استعماله إلا إذا كان فرق درجات الحرارة أكثر من 33°C .
2- ضرورة المحافظة على ثبات درجات حرارة النقطة المرجعية .
3- العلاقة بين *T- emf* غير خطية .
4- الحاجة إلى مضخم للتيار *amplifier* في كثير من التطبيقات .
5- مدى درجات الحرارة التي يقيسها واسع جدا مقارنة بالميزان الزئبقي .
6- الحاجة إلى إضافات غالية الثمن عند استعمالها في عمليات التحكم .

- **ملاحظة :**

القوة الدافعة الكهربائية للازدواج الحراري تتكون من :
1- قوتين دافعتين كهربائيتين ناتجتين عن ظاهرة بليتر .
2- قوتين دافعتين كهربائيتين ناتجتين عن ظاهرة ثومسون .
ولكن صناعيا يتم اختيار معدن الازدواجات الحرارية بحيث تتلاشى فيها ظاهرة ثومسون *(emf=0)* وبحيث تكون *emf* الكلية ناتجة عن بليتر فقط .

- **موازيين المقاومة الكهربائية** *Resistance Temperature Detectors* ***(RTD)***

يعتمد مبدأ عمل هذه الثيرمومترات على تغير المقاومة الكهربائية للمعدن عند تغير درجة حرارته فتكون العلاقة طردية بين مقارنة المواد الموصلة *(conductors)* وعكسية بالنسبة للمواد شبه الموصلة *(Semi-conducers)* . تستخدم مجموعة من المعادن الموصلة في ثيرمومترات الماقاومة الكهربائية منها :
1- البلاتين .
2- النيكل .
3- النحاس .
4- سبيكة البالكو (*30%* حديد، *70%* نيكل).

1- موازيين المقاومة البلاتينية. ***(Platinum Resistance Thermometer)***

يتكون الثيرموميتر من قضيب من السيراميك المفرغ من الداخل يلتف حوله سلك من البلاتين، يغمس القضيب في طبقة من الاسمنت لحمايته من الاهتزاز يغلف الأجزاء السابقة واقي معدني يحميه من الصدمات والتلف ويمتد خارج هذا الواقي من طرفي التوصيل بجهاز القياس.

في بعض الأنواع يتكون البلاتين على شكل فيلم رقيق لزيادة الإحساس بالحرارة .

يقيس هذا الثيرموميتر درجات الحرارة من: $-196°C$ حتى $538°C$ اذا كان البلاتين على شكل فيلم . و $-240°C$حتى $649°C$ اذا كان البلاتين على شكل فيلم وسلك ملفوف معا .

- **طريقة القياس :**

عندما يوضع الثيرموميتر البلاتيني في وسط المراد قياس حرارته (بخار أو سائل) تصبح درجة حرارة الواقي المعدني مساوية لدرجة حرارة الوسط هذا التغير في درجة حرارة الواقي تجعل سلك البلاتيني يسخن أو يبرد وينتج عنه تغيرا في مقاومة السلك. هذا التغير في المقاومة يمكن معايرته مباشرة للدلالة على درجة الحرارة.

- **حسنات موازيين المقاومة الكهربائية :**

1- دقة القياس عليه .
2- يقيس مدى واسعا من درجات الحرارة $(-200°C - 650°C)$.
3- حجمه صغير .
4- ثابت وأدائه دقيق لفترات طويلة .

- **المساوئ :**

1- غالي الثمن .
2- يحتاج إلى قنطرة كهربائية وطاقة .
3- حجم المستودع اكبر منه في الازدواج الحراري .
4- عدم الدقة في القياس تنتج عدد تذبذب التيار الكهربائي .
5- تأثره بالاهتزازات .

- **موازيين المقاومة غير المعدني (Thermistor)** *(Thermally sensitive resistor)*

الثيرموسترات هي أشباه موصلات تتكون من خليط محدد من الاكاسيد النقية من النيكل، المنغنيز، النحاس، الكوبالت، الحديد، المغنيسيوم، التيتانيوم ومعادن أخرى ويتم صهر هذه المجموعات على درجة حرارة تتجاوز $982°C$.

تمتاز هذه الموازيين بان مقاومتها تتناسب عكسيا مع التغير في درجة الحرارة.

توجد هذه الموازيين على أشكال مختلفة كما في الشكل أعلاه، ومن أشهر أنواعها ما كان على شكل الخرزة *(Beads)* وتكون عادة مغلفة بالزجاج وهنالك أشكال أخرى كالقضيب، الصفيحة وغيرها وكلها تمتاز بصغر الحجم .

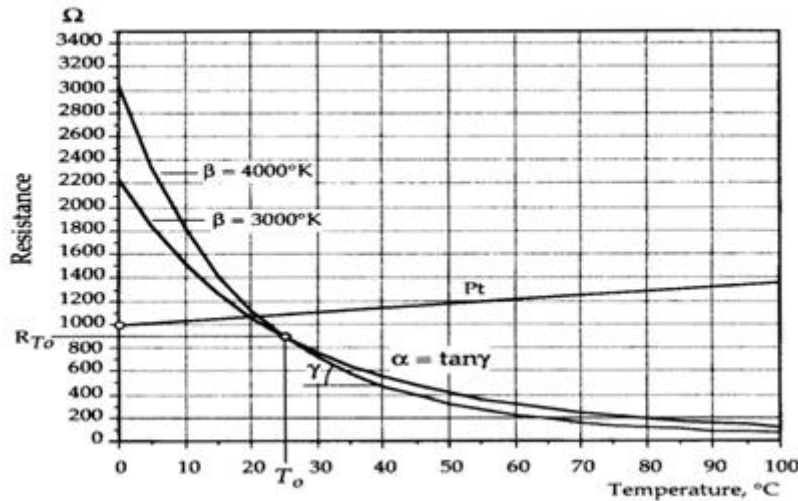
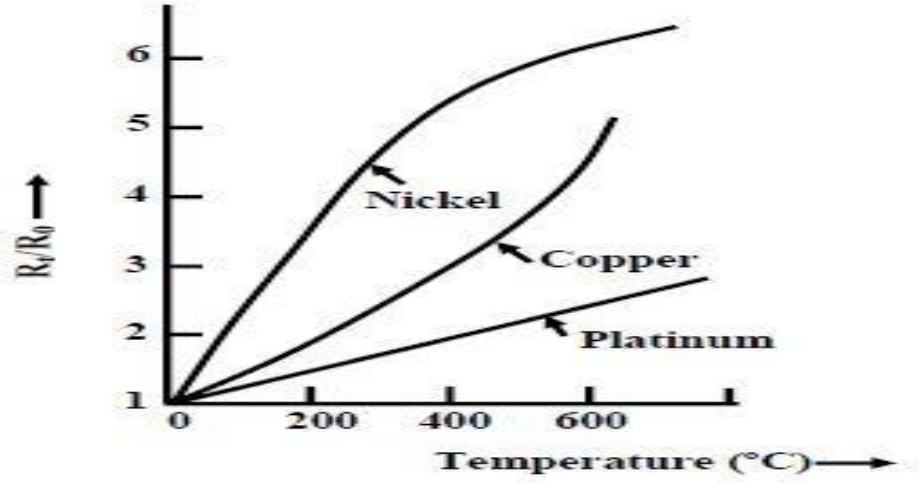
- **طريقة القياس :**

لقياس درجة حرارة وسط ما، يوضع الثيرموستر المناسب في هذا الوسط وتؤخذ القراءة من جهاز متصل بالثيرموستر بواسطة أسلاك توصيل . كلما زادت درجة الحرارة تقل مقاومة الثيرموستر والعكس صحيح، هذا التغير يمكن الكشف عنه وتحويله إلى ما يكافئه من درجة حرارة.

- **حسنات الثيرموستر :**

1- حجمه صغير وسريع الاستجابة .
2- قليل التكلفة .
3- يناسب المجالات الضيقة من قياس درجات الحرارة .
4- تزداد بثابت الثيرموستر مع الزمن .

- **مساوئ الثيرموستر :**

1- العلاقة بين المقاومة الكهربائية ودرجة الحرارية غير خطية وبشكل واضح .
2- لا يناسب المجالات الحرارة الواسعة .
3- لا يتصف بالثبات عند درجة الحرارة .
4- لا يناسب قياس درجات الحرارة المرتفعة 800°C من مقارنة مع ثيرمومترات المقاومة الكهربائية *(RTD)* .
5- يحتاج لقنطرة كهربائية وطاقة كهربائية لاستخراج القراءة .

الشكل *(9)* علاقة المقاومة الكهربائية لأشباه الموصلات مع درجة الحرارة تم معايرة الثيرموستير عند درجة حرارة $25\ ^0C$

الشكل (*10*) علاقة المقاومة الكهربائية للموصلات مع درجة الحرارة تم معايرة *RTD* عند درجة حرارة $0\ ^0C$

الوحدة الأولى

الوحدة الثانية: قياس الرطوبة (Humidity Measurements)

مقدمة:

عند تقيم المواد أو المنتجات العضوية يعتبر تحديد كمية المياه الحرة فيها ؛من أكثر الاختبارات شيوعا ويعبر عنها بنسبة مئوية من وزن المادة .

ان كمية المياه الحرة الموجودة في أي مادة (صلبة، سائلة أو غازية) تعتمد على الصفات الكيميائية والفيزيائية لها وعلى الطريقة التي يتم التعامل فيها .

يُستخدم مصطلح **(**Moisture**)** أو الرطوبة (النداوة) للتعبير عن وجود الماء الحر في المادة الصلبة والسائلة ؛ومصطلح Humidity أو الرطوبة للتعبير عن وجود الماء في المادة الغازية أو الهواء، ولهذا تعتبرHumidity حالة خاصة من Moisture وللتفريق بينهما تترجم الأولى بالرطوبة والثانية بالنداوة .

*** <u>الطرق المخبرية لتحديد (النداوة) في المواد:</u>**

1. طرق التحليل الكيميائي (**Chemical reaction methods**)

وذلك باستخدام طريقة كارل_فيشر (**Karl – Fisher technique**) حيث يتم في هذهالطريقة معايرة العينة بمحلول كارل_فيشر، الذي يتكون من محلول من اليود ،SO_2 ،الميثانول ،البيريدين**(**C_5H_5N**)** ؛بهذا التحليل يتم أكسدة SO_2 عن طريق اليود في محلول هيدروكسيد الميثانول.

2. طرق التقطير **(Distillation Method)**

ويتم فيها فصل الماء من العينة السائلة وذلك بسبب فرق درجة الغليان بينهما . يجمع الماء ويتم قياس حجمه؛ تعتبر هذه الطريقة من الطرق المعيارية لشدة دقتها ،حيث توضع العينة في دورق جاف ونظيف وتقطر ثم تكثف الأبخرة وتجمع ويقاس حجم الماء المتكثف.

3. التجفيف الحراري (**Thermal or Oven drying**)

هي من الطرق القديمة المستحبة لتحديد الرطوبة في العينات الصلبة وذلك بتسخينها في الفرن وحساب فقد الماء قبل وبعد التسخين أو التجفيف.

تُطبق هذه الطريقة على المواد الصلبة والحبيبية والألياف وبالرغم من بساطتها وكثرة شيوعها الا أنها لا تميز بين الماء والمواد العضوية سهلة التطاير أثناء عملية التجفيف.

4. طريقة الاتزان (**Equilibrium method**)

ان محتوى الرطوبة للهواء على سطح المادة عند حالة الاتزان يمثل محتوى الرطوبة داخل هذه المادة؛ ولكن هناك العديد من العوامل التي تؤثر على القياس بهذه الطريقة للمواد الصلبة الحبيبية والألياف.

طرق قياس النداوة

من الأجهزة المستعملة لقياس النداوة منها ما هو دوري أو مستمر، فالأجهزة الدورية تحديث لأجهزة القياس المخبرية والتي لا تمتزج لفترة زمنية (2 - 30) دقيقة ولهذا فهي لا تناسب أنظمة التحكم الآلي.

هنالك العديد من االجهزة والتي يمكن تصنيفها حسب مبدأ طاقة التشغيل**:** امواج الراديو، اشعاع الموجات تحت الحمراء وأجهزة السعوية الكهربائية.

1. طرق الامتصاص بالأشعة تحت الحمراء (IR Absorption)

يتم تسليط موجه شعاعيه ثنائية على الورقة الرطبة (الهدف) ،ويتم انعكاس الشعاع منها وتجميعه ثم يتم تكبير هذه الاشارة مباشرة كمحتوى للرطوبة .

2. الطرق السعوية الكهربائية (**Electrical Capacities**)

مبدأ هذه الطرق يعتمد على ان ثابت العزل للمواد متغير في ظروف الجفاف أو البلل ويمكن تحديد مقدار الماء في العينة حسب تركيز ثابت العزل فيها . وتستعمل لقياس النداوة من (**% 3 -2**) وحتى (**% 20 – 15**)

3. طرق التوصيل الكهربائي (**Electrical conductivity**)

يعتمد على مبدأ عمل ان التوصيل الكهربائي للمواد (الخشب ،النسيج ،الورق) يتزايد خطيا مع زيادة رطوبة المادة نفسها .

4. طرق امتصاص موجات الراديو (**Radio-frequency absorption**)

تقوم على اساس ضعف الموجات الراديوية (**KMHZ**) عندما تعبر المواد الصلبة وتناسب هذه الطريقة المواد القطبية (Polar) أكثر من غيرها.

الرطوبة (Humidity)

يمكن تعريفها بأنها كمية الماء المحمول في الهواء الجاف ،أو كمية النداوة في الجو. يمكن التعبير عنها على أساس مطلق أو نسبي ويمكن اعتبار الرطوبة النسبية مقياسا لمدى راحة االنسان عند استتنشاف الهواء المحيط.

تعتبر الرطوبة متغيرا مهما في عمليات:التبريد ،التكيف،الورق والنسيج ،الصناعات الكهربائية ، حفظ الأغذية، عمليات التجفيف ،عمليات الاحتراق .

نستعمل في تعريف الرطوبة قانون دالتون للضغوط الجزيئية والذي ينص: "ان الضغط الكلي الناتج عند مزيج من الغازات أو الأبخرة هو المجموع الكلي لضغط كل غاز أو بخار منفرداً (كما لو انه يحتل نفس الحيز) فالضغط الكلي للهواء (مزيج غاز مكون من ماء-هواء): $P_{total} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + \cdots$

يمكن التعبير عن الرطوبة بعدة طرق:

1. درجة الحرارة الرطبة (**Wet bulb temperature**)
   تعريفها: أقل درجة حرارة يصلها ميزان الحرارة المبلول في تيار الهواء.
   الوحدات: ℉ or ℃
   التطبيقات: المجففات عالية الحرارة، تكييف الهواء.

2. الرطوبة النسبية المئوية (**Percent relative humidity**)
   تعريفها: نسبة ضغط البخار الفعلي إلى ضغط البخار المشبع عند نفس الدرجة الجافة.
   الوحدات: (**0 – 100 %**)
   التطبيقات: مراقبة تكييف الغرف، تعبئة المواد الغذائية والدوائية.

3. نقطة الندى أو الجليد (**Dew point**)
   تعريفها: درجة الحارة التي يجب أن يبرد فيها الهواء للحصول على حالة الاشباع (أي يتكثف البخار). واذا كانت درجة الحرارة أقل من الصفر المئوي (0 ℃) تسمى نقطة الجليد أو التجمد.
   الوحدات: ℉ or ℃

   التطبيقات: المعالجة الحرارية، التحكم بالمجففات، قياسات مراقبة الهواء والقياسات البيئية.

4. النسبة الوزنية أو الحجمية للرطوبة (**volume or mass ratio**)

تعريفها: الجزء من مليون (PPM) الحجمي هو نسبة الضغط الجزيئي لبخار الماء الى الضغط الجزئي للغاز الجاف الذي يحمله. أما النسبة الوزنية فتعتمد على الكتلة الجزئية لها.

الوحدة: PPM_v Or PPM_w

التطبيقات: الحصول على الغازات الخالية من الرطوبة (H_2, CH_4, O_2, N_2 and air)

الرطوبة النسبية المئوية:

وهي أشهر الطرق المستعملة لتحديد الرطوبة الأكثر انتشارا

$$\%\ RH = \left(\frac{P_{vap}}{P_{sat}}\right)_{T_{dry}} \times 100\%$$

تمثل كمية بخار الماء الفعلية الموجودة في الهواء كنسبة مئوية

فإذا كانت $\%\ RH = 0\%$ فإن الهواء جاف ولا يحتوي بخار الماء

فإذا كانت $\%\ RH = 100\%$ فإن الهواء مشبع تماما ببخار الماء

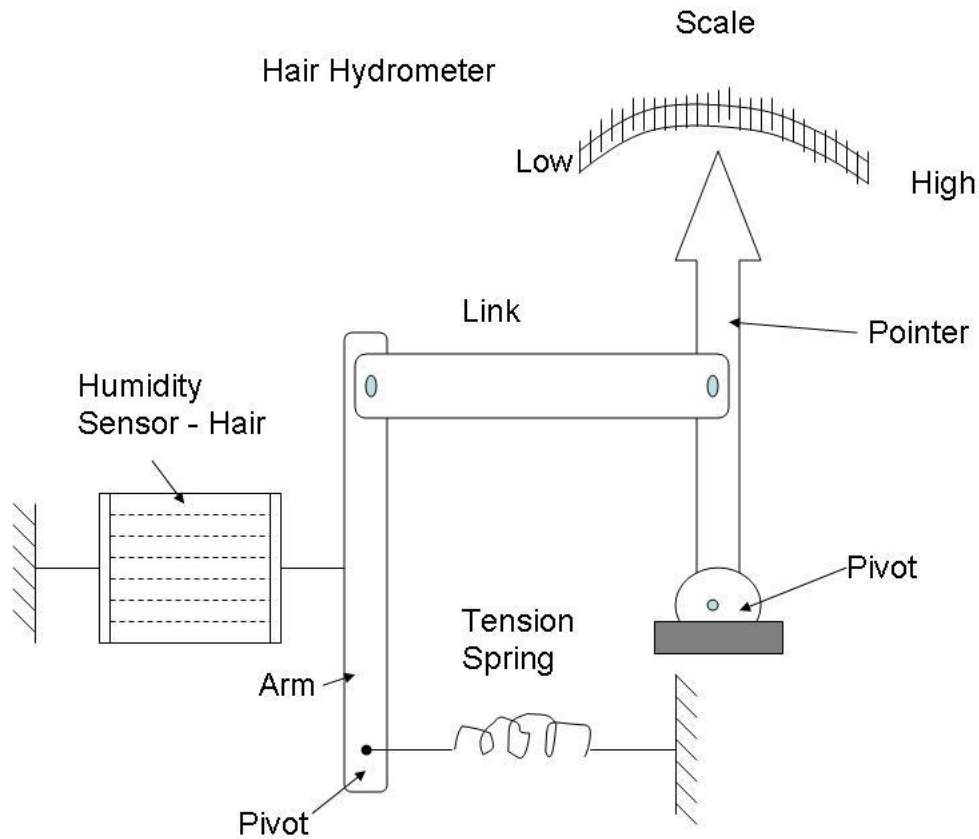
اذا ذكر مذيع التلفزيون او الراديو ان درجة الحرارة **27C** والرطوبة النسبية المئوية % 60 يعني ان:

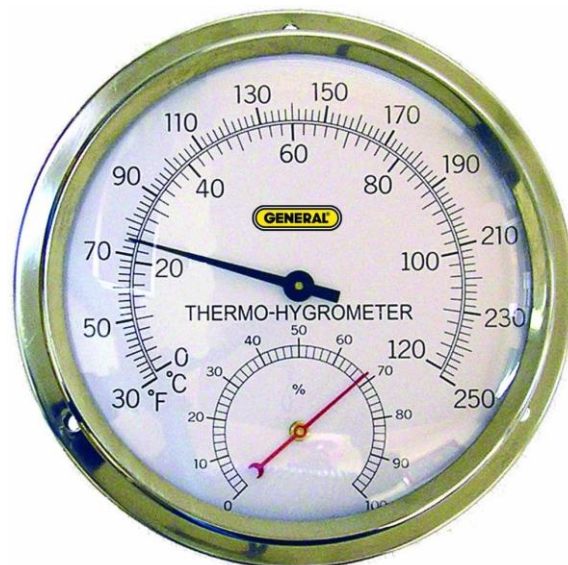
$$\%\ RH = \frac{P_{H_2O}}{P^*_{H_2O}} \times 100\ \% = 60\%$$

فمن جداول البخار نجد ضغط البخار المشبع عند 27 °C يساوي $P^*_{H_2O} = 3.564$ kPa وبالتالي فإن الضغط الجزئي للبخار يساوي 2.128 kPa

أجهزة قياس الرطوبة النسبة:

1. هيجروميتر الشعر (Hair hygrometer) أو مرطاب الشعر

ويتكون من شعره أو غشاء مرن من أصل عضوي مرتبطة بزنبرك يضغط عند تمدد الشعره.

مبدأ عمل هيجروميتر الشعر هو (الامتصاص)، حيث يقوم النسيج العضوي بامتصاص الرطوبة من الجو ويتمدد طرديا حسب نسبة الرطوبة فيه. يصلح هذا الهيجروميتر لقياسات الرطوبة النسبية المئوية في المجال: 15 – 95 %

يمكن استعمال خيوط صناعية مثل النايلون لقياس الرطوبة. عادة لا بد من الانتظار 30 دقيقة حتى يمكن أخذ القراءة حتى نحصل على حالة الاتزان.

2. مقياس الرطوبة ذو البصلتين

ويسمى مقياس رطوبة الجو Psychrometer

يعتمد هذا الجهاز في قياسه للرطوبة النسبية المئوية على درجتي حرارة هما:

- درجة الحرارة الجافة أو درجة جرارة البصيلة الجافة **Dry bulb temperature**

وهي درجة الحرارة المقاسة بواسطة ميزان حرارة عادية.

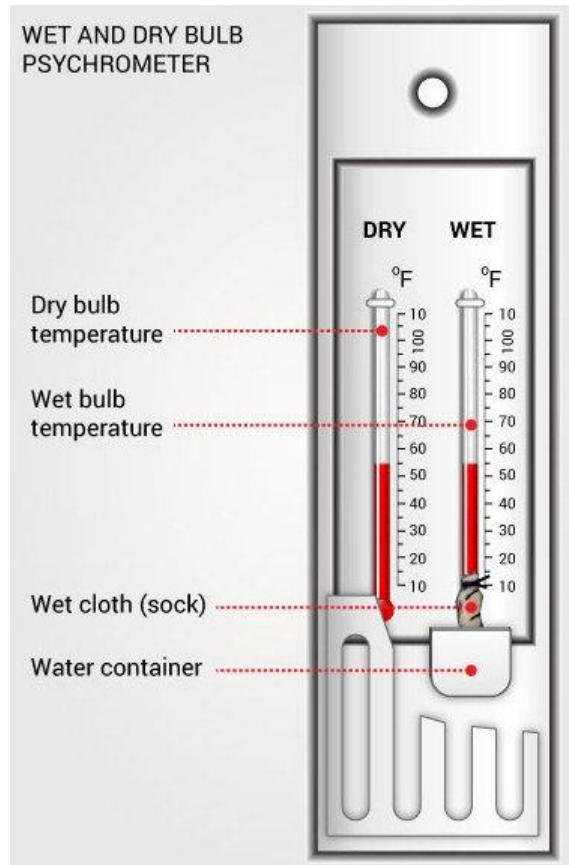
- درجة الحرارة الرطبة أو درجة جرارة البصيلة الرطبة **Wet bulb temperature**

وهي درجة الحرارة المقاسة بواسطة ميزان حراري عادي يُلف حول مستودعه قطعة من القماش مغموسة بالماء.

ثم تُؤخذ هاتان القراءاتان ونستخرج بواسطتهما قيمة الرطوبة النسبية المئوية RH % من مخطط الرطوبة (Psychrometric chart) أو من جداول أخرى بالاستعانة بفرق درجة الحرارتين ΔT

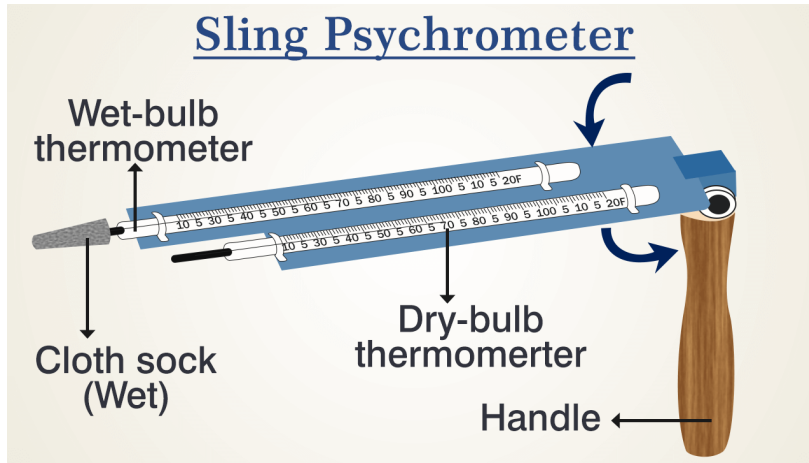
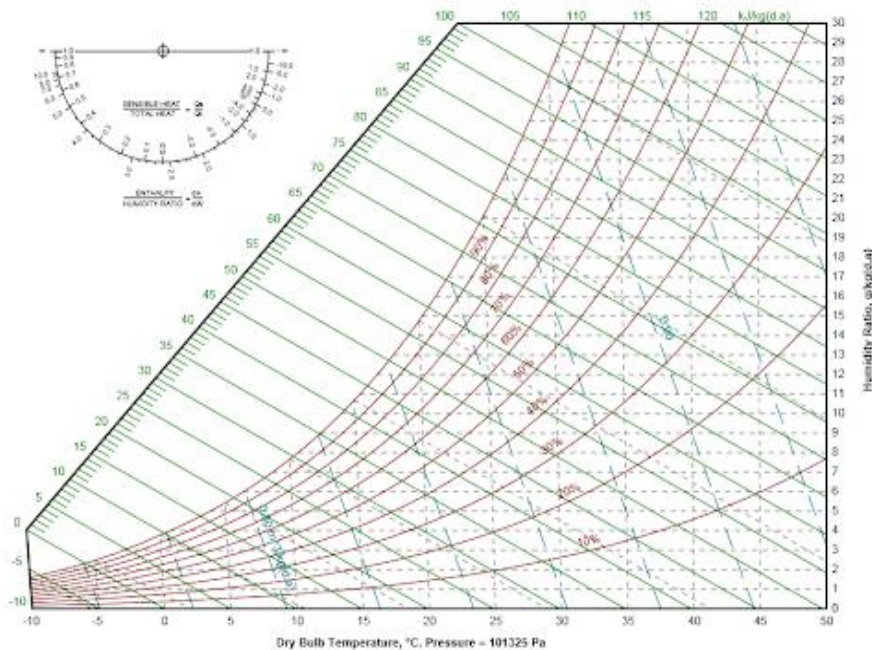
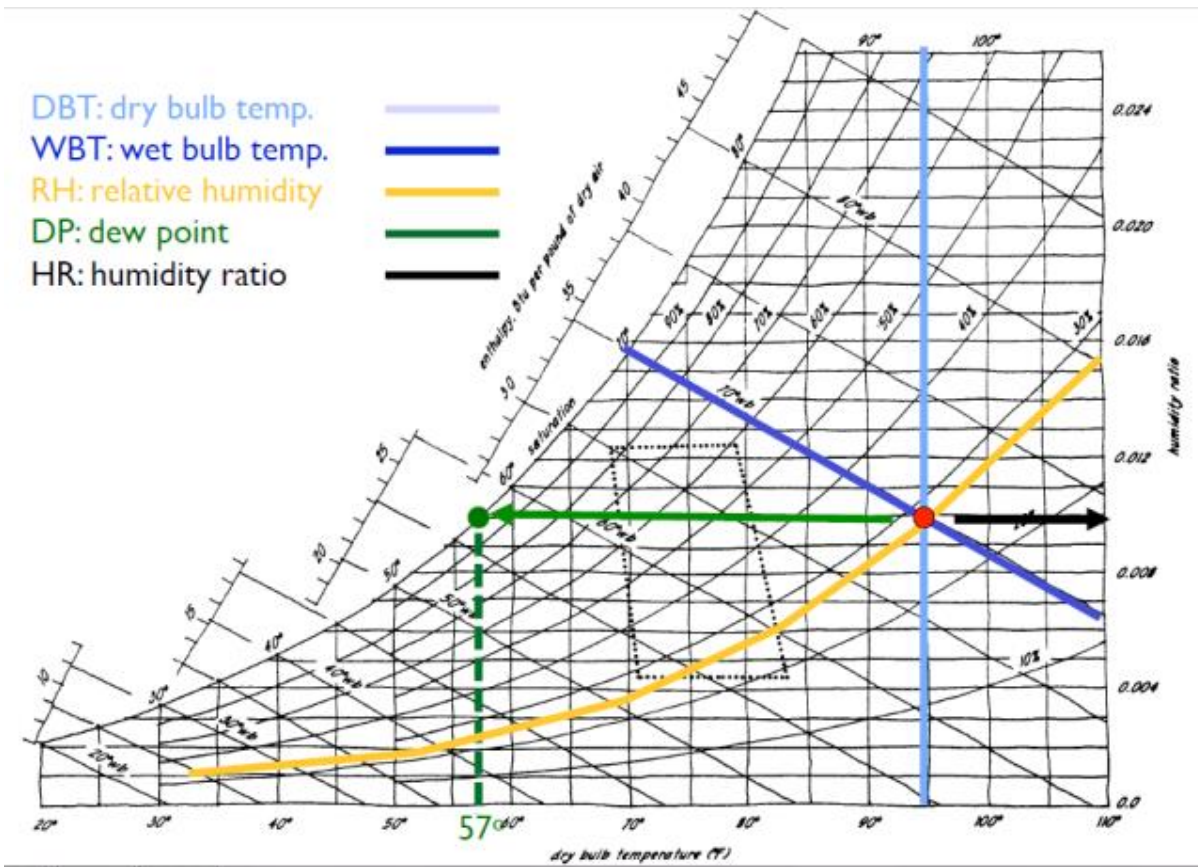
هناك نوعان من مقاييس رطوبة الجو هما:

أ) مقياس رطوبة الجو الثابت

ويتكون من ميزاني حرارة ثابتين في مكان ما، يحفظ مستودع الميزان الأول جافاً بينما يلف المستودع الثاني بفتيله مبلله. تُستخرج درجتي الحرارة الجافة والرطبة بقرائتهما مباشرة ثم تستخرج RH % من الجدول.

ب) مقياس الجو رطوبة الجو الدوراني Sling Psychrometer

ويُدعى المرطاب يتم تدويره في الهواء قبل أخذ القراءة. يتكون من مقياس حرارة مثبتين على منطقة بلاستيكية ذات يد متحركة. مستودع أحد الميزانين ملفوف بفتيلة أو قطعة قماش مبللة. تهدف حركة المرطاب الدورانية للحصول على تيار هوائي حو الميزانين.

تُقرأ درجتي الحرارة الرطبة و الجافة ثم تُستخرج قيمة الرطوبة النسبية المئوية RH % من مخطط الرطوبة.

تُتعتبر قيمة RH % المُستخرجة بهذا المقياس أدق من المقياس الثابت وذلك لأنه يأخذ بعين الاعتبار حركة الهواء الاعتيادية وتأثيرها على درجة الحرارة.

استخراج الرطوبة النسبية المئوية بواسطة مخطط الرطوبة: يتكون هذا المخطط من محاور عديدة منها: درجة الحرارة الرطبة، درجة الحرارة الجافة، الضغط، RH% ، الحرارة النوعية، الرطوبه المطلقة وغيرها. وهناك مخططات تختلف عن الأخرى حسب المحاور المستعملة.

3. طريقة الامتصاص – التوصيل الكهربائي (Absorption – Conductivity Method)

تستخدم هذه الطريقة لقياس نقطة الندى (***Dew point***) ويسمى الجهاز بمجس الملح المشبع (Saturated salt dew point sensor) ويستخدم بكثره لبساطته وصلابته ورخص ثمنه.

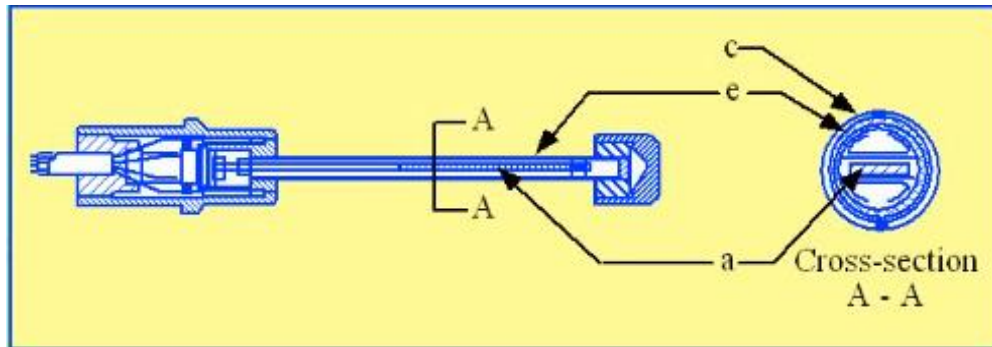
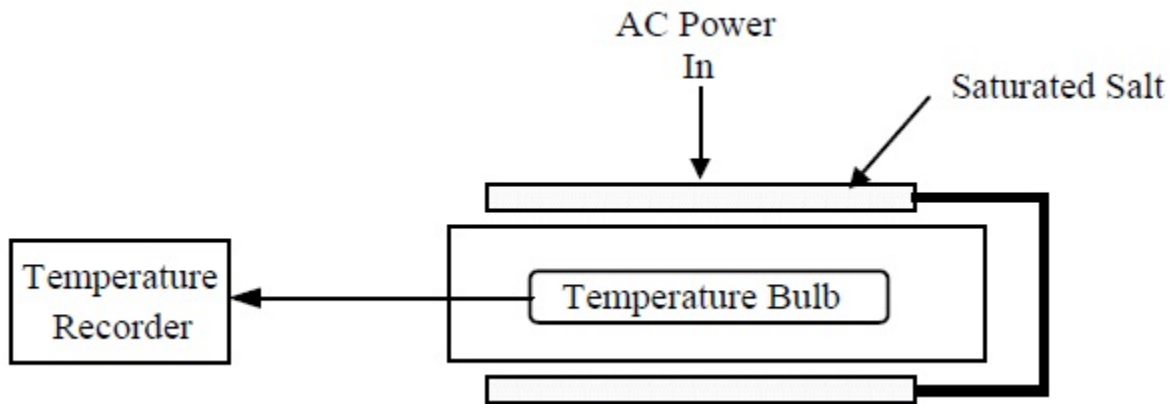
مبدأ العمل: ينخفض ضغط بخار الماء عندما يوجد ملح ماص للرطوبة فعندما يتكثف البخار في الهواء على ملح ماص للرطوبة، يتكون طبقة رقيقة ومشبعه على سطحه. فعندما ترتفع درجة حرارة الملح يزداد ضغطه البخاري حتى يتطابق مع الضغط البخاري للماء حوله وتكون هذه الحالة حالة اتزان بين عملية التبخير وعملية التكثيف.

الجهاز: يتكون من مكوك أو بكرة من القماش الماص مغطاة بسلك مزدوج القطبين (electrodes) ومغطية بمحلول مخفف من كلوريد الليثيوم ***(LiCl)***

يمرر تيار كهربائي خلال الأسلاك والمحلول الماص للرطوبة مما يسبب ارتفاع الحرارة. عندما يسخن المكوك يتبخر الماء الموجود في ملح كلوريد الصوديوم ويتم تحديد معدل التبخر بقياس ضغط بخار الماء في الهواء المحيط بالمجس.

عندما يبدأ المكوك بالجفاف نتيجة تبخر الماء تزداد مقاومة الملح ويقل التيار المار خلال الأسلاك ولهذا يبدأ المكوك بانخفاض الحرارة وتبدأ عملية تكثيف الماء (تكون نقطة الندى) وتتكون طبقة مشبعة على سطحه.

يستخدم ملح كلوريد اللثيوم بكثرة لأنه شديد القابلية لامتصاص الرطوبة ويمكن قياس الرطوبة من (% 100 – 11)

تقيس هذه الأجهزة نقطة الندى في المجال من (-12 to 32)°C بدقة عالية، خارج هذا النطاق تزداد قيمة الخطأ في القياس. تمتاز هذه الأجهزة ببطئ الاستجابة وضيق مجال القياس كما أنها لا تستعمل لقياس نقطة الندى عندما يكون ضغط بخار الماء أقل من ضغط الاشباع لملح كلوريد الصوديوم (تحدث عند 11% RH)

الوحدة الثالثة: قياس المستوى (Level Measurements)

مقدمة:

مرت عملية قياس المستوى بمراحلٍ مختلفة، فقد كانت يدوية بسيطة في البداية مثل قياس العمق باستخدام قضيب مدرَّج أو حبل مربوط به ثقل وغير ذلك من الطرق التي تحتاج لجهد انساني في عملية القياس؛ بالإضافة إلى أن عملية القياس كانت تتم في موقع القياس نفسه.

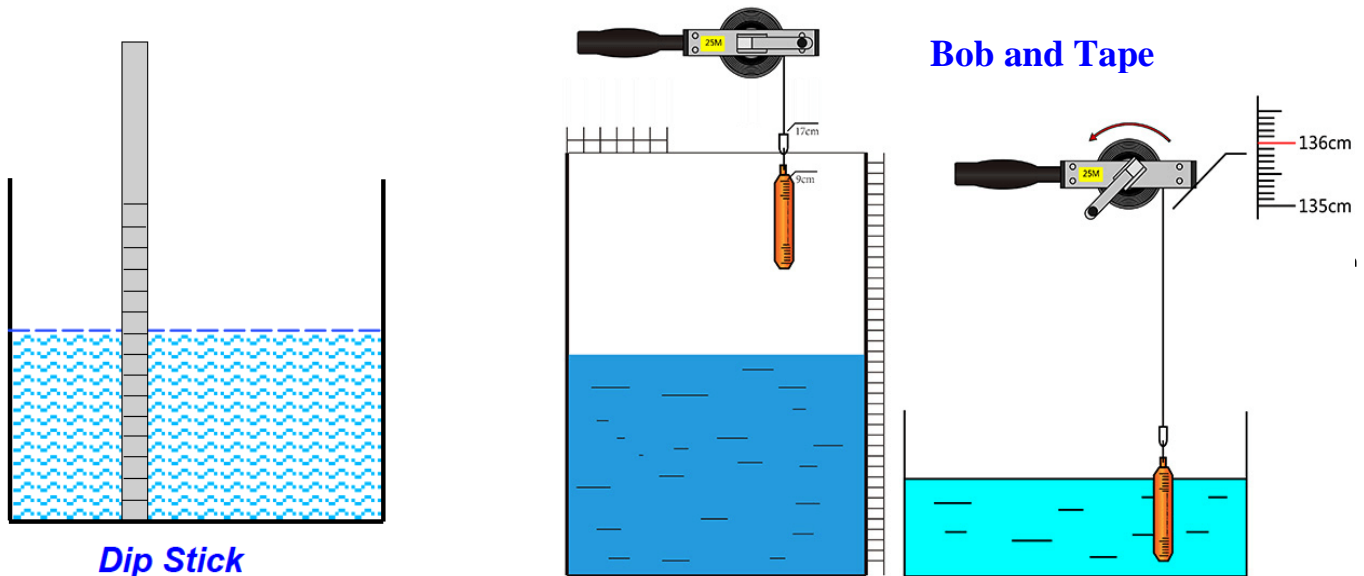
إن عملية القياس تتم دائمًا بالنسبة لنقطة مرجعية او إسناد ويتم قياس المستوى عادةً إما بتحسس مستوى سطح السائل (surface sensing) أو بقياس ضغط عمود السائل فوق نقطة الإسناد.

<u>من الطرق المعروفة لقياس مستوى السائل</u>: طرق ميكانيكية مباشرة، طرق ميكانيكية غير مباشرة، الطرق الكهربائية، الطرق الإشعاعية والموجات الفوق صوتية.

أما مستوى المواد الصلبة فيتم بواسطة الخلايا الوزنية، الموجات الصوتية، موجات الميكروويف، المتحسسات الإشعاعية، المتحسسات الصوتية والميكروويف.

١- الطرق الميكانيكية المباشرة:

تشمل هذه الطرق ثلاثة طرق لقياس المستوى: -

- أنبوبة العمق (Dip stick method): وتسمى أحياناً (Bob and Tape Method) وهي من أبسط الطرق المستخدمة لقياس المستوى في الخزانات المفتوحة تتكون من متر معدني يوجد في نهايته ثقل معدني (bob)

طريقة العمل:

ينزل المتر المعدني (tape) في الخزان حتى يلامس السطح يرفع المتر المعدني ويقاس طوله ثم ينزل لقاع الخزان ولقياس الطول يطرح الفرق بين القراءتين ليعطي قيمة مستوى السائل في الخزان.

تمتاز هذه الطريقة: -

١- بأنها تعطي قراءة غير دقيقة وبدائية أيضاً وتعتمد على إبصار الإنسان وشد الحبل.

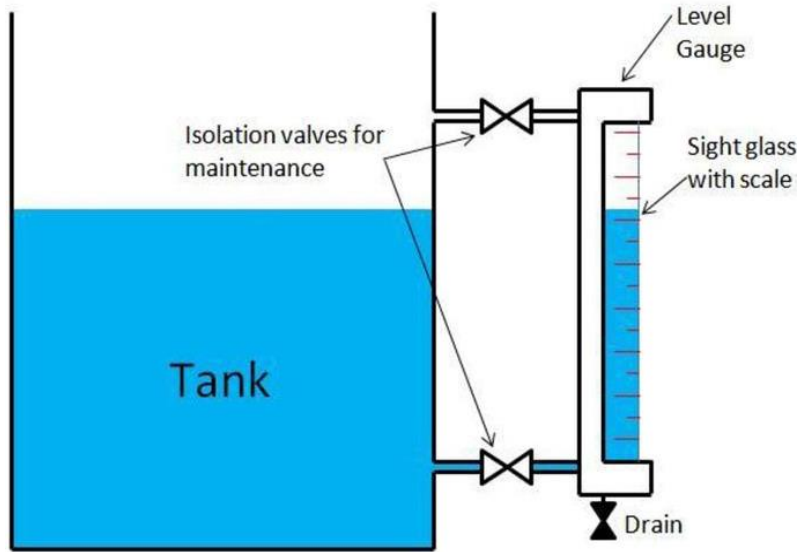
٢- بانها تناسب الخزانات ذات القاع المستوي فقط (لا كروي أو بيضوي).

٣- بأنها لا تعطي قراءة مستمرة لمستوى السائل.

٤- تناسب الخزانات المفتوحة فقط.

- زجاج الرؤيا (Sight glass method)

ويسمى أحياناً (Gauge glass)، يتكون من انبوب زجاجي مدرج مركب على جانب الخزان. يحمي هذا الأنبوب غلاف من المعدن حوله وتترك فتحة طويلة صغيرة لتسهيل عملية رؤية مستوى السائل.

يوجد صمام على خط الأنبوب وذلك لقطع تدفق السائل في حالة انكسار أنبوبة الرؤية (زجاج الرؤيا). ويمكن الاستعاضة عنه بِكُرةٍ معدنية. في حال كان الخزان تحت ضغط او تحت الفراغ يجب أن تتصل أنبوبة الرؤية بالخزان من الأعلى ومن الأسفل.

مبدأ العمل:

ارتفاع السائل في الانابيب نفس المستوى إذا تعرض لنفس الضغط فوق الأنابيب المستطرقة بغض النظر عن شكل أو حجم الأنبوب.

طريقة العمل:

عند فتح الصمام يرتفع السائل في زجاج الرؤيا (أنبوبة الرؤية) في مستوى يساوي مستوى السائل في الخزان. تؤخذ القراءة عند تدريج زجاج المستوى.

** مميزات زجاج الرؤيا: -

١- سهلة القراءة وتبقى ثابته مع الخزان.

٢- يمكن استعمال الأنابيب الزجاجية أو البلاستيكية.

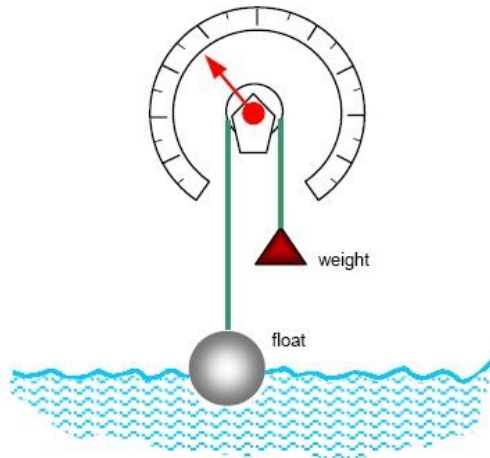
٣- في الخزانات ذات الارتفاع أكثر من 5م، ويمكن استعمال أكثر من أنبوبة رؤية.

٤- في درجات الحرارة المنخفضة فقد يتجمد السائل في أنبوبة الرؤية مما يؤدي لكسرها أو على الاقل تسبب خطأً في قراءة المستوى.

٥- تعتمد القراءة السليمة على نظافة الزجاج وصفاء السائل.

٦- لا تستعمل في خزانات المواد الخطرة، الثقيلة و اللزجة.

- العوامة (Float)

تستعمل لقياس مستوى السائل باستخدام عوامة وهي قطعة ذات شكل معين تطفو على السطح نتيجة انخفاضه أو ارتفاعه؛ تنتقل هذه الحركة إلى مؤشر خلال آلية معينة وتعطي قراءة المستوى.

هنالك عده أنواع من العوامات:-

- كرة معدنية
- قطعة خزف اسطوانية الشكل
- مواد صناعية على شكل قرص

مبدأ العمل:

تطفو الاجسام إذا كانت كثافتها أقل من كثافة السائل.

التركيب:

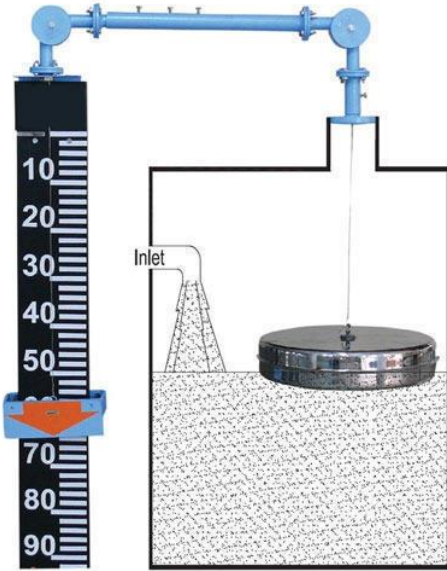
ابسط الانواع (كما في الشكل الاول)، ترتبط العوامة بسلك يدور حول البَكرة التي يتصل بها مؤشر في نهاية السلك ثقل. إذا تغير مستوى السائل يتغير موقع العوامة فإذا قل انخفضت العوامة وسحبت معها السلك الذي يشد البكرة والمؤشر إلى موقع حتى تستقر.

مميزاتها: -

١- تناسب الخزانات الأرضية

٢- سهلة

٣- تناسب السائل المعروف الكثافة

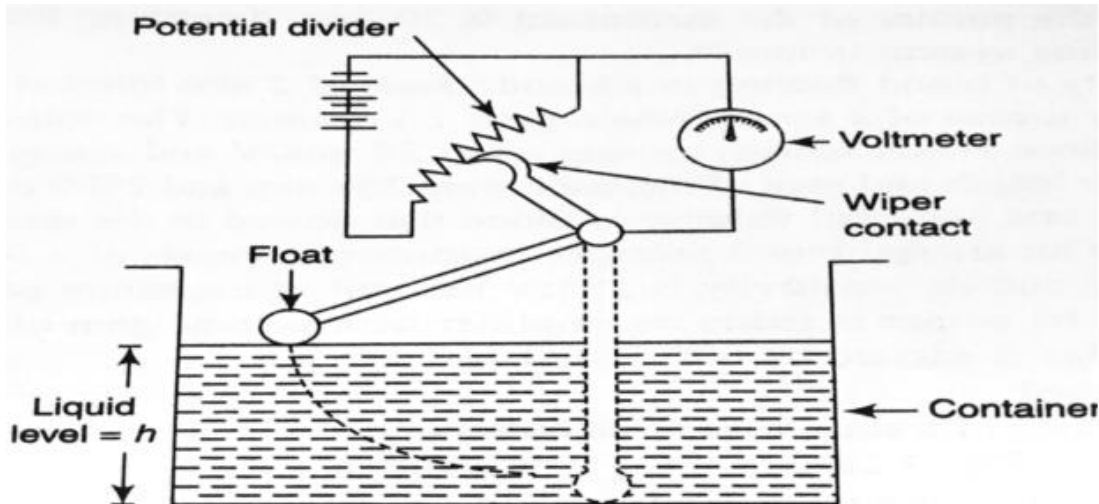
هنالك أجهزة أخرى مشابهة فمثلًا يكون المؤشر مرتبطاً بالسلك بدلاً من الكرة ونوع آخر تكون العوامة مرتبطة بقصبة في نهايتها المؤشر وتتأرجح لحركة السائل من الأجهزة الأخرى، تستعمل العوامة المغناطيسية التي تعتمد على قوة التجاذب بين قطعتين من المغناطيس لتتبع ارتفاع السائل.
يتكون من أنبوب مقرب يصل لقاع الخزان ويحتوي على قطعة مغناطيس داخلية مرتبطة بالمؤشر ومن مغناطيس عائم حول الانبوب.

عندما يرتفع مستوى السائل ترتفع العوامة المغناطيسية (المغناطيسي الخارجي) ويتتبع المغناطيس الداخلي حركة العوامة للأعلى محركاً معه المؤشر ليعطي القراءة الجديدة.

المميزات: -

١- تناسب الخزانات الأرضية.

٢- تعمل ضمن درجات حرارة واسعة.

٣- الأنبوب يجب أن يتحمل الحرارة، الضغط وتركيز السائل.

٤- تعتمد على شكل الخزانات.

٢- الطرق الميكانيكية غير المباشرة.

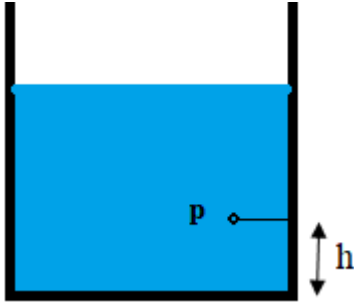
توجد عدة طرق ميكانيكية وغير مباشرة لقياس مستوى السائل منها: -

١- مقياس الضغط (Pressure gauge) تعتبر هذه الطريقة من أبسط الطرق المستخدمة في قياس مستوى السائل في الخزانات المفتوحة.

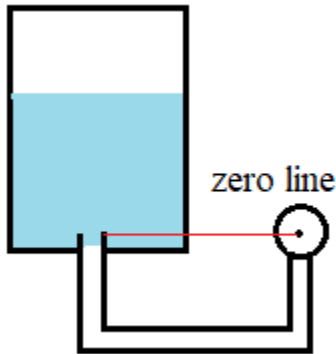
مبدأ العمل:

يعتمد الضغط السكوني للسائل على كثافة وارتفاع السائل أو عمقه؛

$$P = \rho\, g\, h \longrightarrow h = \frac{P}{\rho\ g}$$

وبمعرفة كثافة السائل وضغطه يمكن تحديد مستوى السائل فيه.

<u>تركيب الجهاز (البسيط):</u>

يتكون الجهاز من مقياس للضغط (بوردن مثلًا) في أسفل مستوى الخزان.

يسمى المستوى الذي يتصل به جهاز بوردن بمستوى الصفر (Zero Line) ، وتكون قراءة مقياس بوردن للضغط فوق هذا المستوى مساوية لضغط عمود السائل فوقه.

يفترض أن الضغط الجوي فوق الخزان المفتوح ثابتاً وبهذا تكون معايره مقياس بوردن ثابتة كما أنه يفترض أن كثافة السائل ثابتة وإذا تغيرت تؤدي لقراءة خاطئة.

يمكن استعمال هذه الطريقة أيضاً لقياس ضغط السوائل الآكلة (corrosive) او السوائل شديده اللزوجة (Viscous) ولكن لابد من إضافة بعض الأجزاء.

تركيب جهاز مقياس الضغط: -

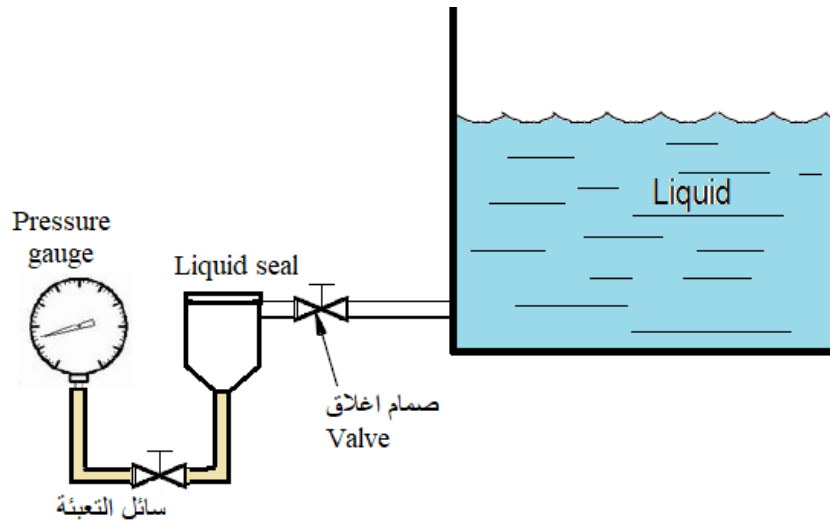
١- ساعة ضغط (بوردن).

٢- صمام إغلاق عدد (2).

٣- أنبوب يصل الخزان مع ساعة الضغط.

٤- سائل مانع للتسرب (Liquid seal)

٥- سائل التعبة .(Filling liquid)

٦- خزان.

من مواصفات سائل التعبئة: أن لا يتفاعل كيميائياً مع سائل القياس في الخزان ولا يختلط معه. يتكون مانع التسرب من سائل يعبأ في جزء القياس وصمام يرتبط مع الأنبوب ساعة بوردن.

طريقة القياس:

عندما يتغير مستوى السائل في الخزان، (الصمام الأول المفتوح) يضغط السائل على سائل التعبئة والذي يضغط على مقياس الضغط (بوردن) ويعطي قراءة للضغط تتناسب طردياً مع ارتفاع السائل.

أجهزة أخرى تستعمل وسيلة الغشاء (diaphragm) كمانع للتسرب والذي يمنع تلامس السائلين ويستجيب لتغيّر ارتفاع السائل في الخزان ويُنقل هذا التغير لسائل التعبئة وساعة الضغط.

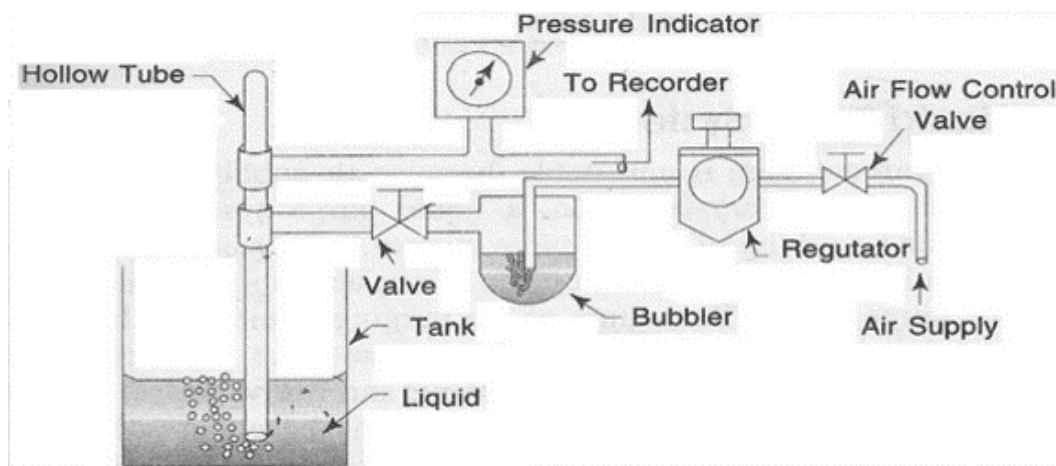
عيوب مقياس الضغط: -

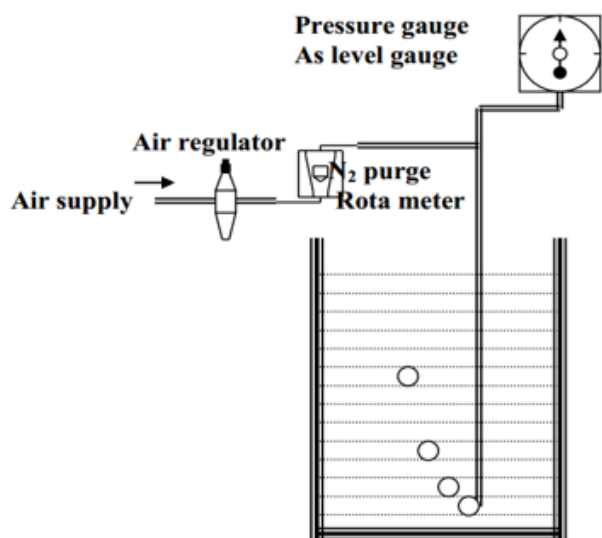
- لابد من تركيب مقياس الضغط في أسفل مستوى له وهذا غير مناسب في الحالات التي يكون فيها الخزان مرفوعاً فوق غرفة التحكم.
- إذا كان أنبوب القياس دقيقا، يُحتمل إغلاقه في حال وجود شوائب في الخزان.

٢- طريقة الفقاعات (Bubbler level gauge)

وتعرف احيانا بطريقه التطهير بالهواء (التنظيف) او (Air purge) وهي من أشهر الطرق المستعملة لقياس مستوى السائل والتي تناسب جميع السوائل.

التركيب: -

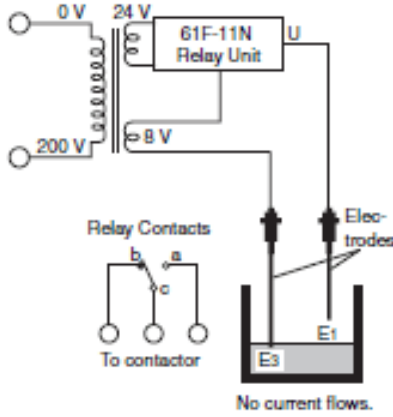
١- أنبوب مفرغ داخل الخزان يسمى أنبوب الفقاعات.(Bubbler tube)
٢- منظم الهواء .(air regulator)
٣- مقياس الضغط.
٤- مسجل قراءة الضغط .(recorder)

طريقة القياس:

عندما يكون الخزان مفرغاً أو أن مستوى السائل فيه أقل من أنبوب الفقاعات يكون مقدار الضغط المقاس صفراً وهذا يعني ان فقاعات الهواء تتسرب للجو؛ وعندما يرتفع السائل ليغمُر فوهة الأنبوب، يعيق السائل حركة تيار الهواء؛ و ضغط الهواء الذي يتكوّن معاكساً لعمود السائل يظهر على شكل ضغط معاكس (back pressure) على ساعة الضغط وتظهر القراءة مباشرة على الجهاز أو يتم تسجيله بواسطة المسجل. و تكون ساعة الضغط مُعايرة بوحدات المستوى.
بسبب دخول فقاعات الهواء المستمر من انبوب الفقاعات، لا يدخل سائل الخزان إلى الأنبوب ولهذا يسمى الأنبوب منظفاً.
أكثر أنواع الغازات استعمالًا هو الهواء، ولكن في الحالات التي لا ينفع فيها استعماله (كأن يتفاعل مع السائل او يتم امتصاصه)، يستعمل غاز النيتروجين او الكربون.

حسنات طريقة الفقاعات: -

١- يمكن أن يركب نظام الهواء فوق الخزان او أسفله.
٢- يمكن أن يركب نظام عن بعد ١٢م بمساعدة أنابيب إضافية.
٣- مناسبه لقياس مستوى السوائل الآكلة (corrosive) او الحاكة .(abrasive)

٣- الطرق الكهربائية

توجد العديد من الطرق الكهربائية لقياس مستوى السائل ومن أكثرها شيوعاً في الصناعة:

- كاشف (مقياس) المستوى الموصلي (conductivity level detector) يتكون الكاشف من قطبين (electrodes) مغموسين في الخزان. عندما يرتفع مستوى السائل في الخزان بدرجة كافية تسمح بوجود ممر موصل (Conductive path) للتيار بين القطبين يتم إمداد مُرحّل (relay) بطاقةٍ كهربائية تنشيطية (يكون غالباً ملف او مادة صلبة). يُستخدم المرحّل في اغراض الإنذار او لأغراض التحكم وبهذا تستعمل الإيصالية لأغراض التحكم.

المميزات: -

١- لابد أن يكون السائل موصلاً للتيار فقط.

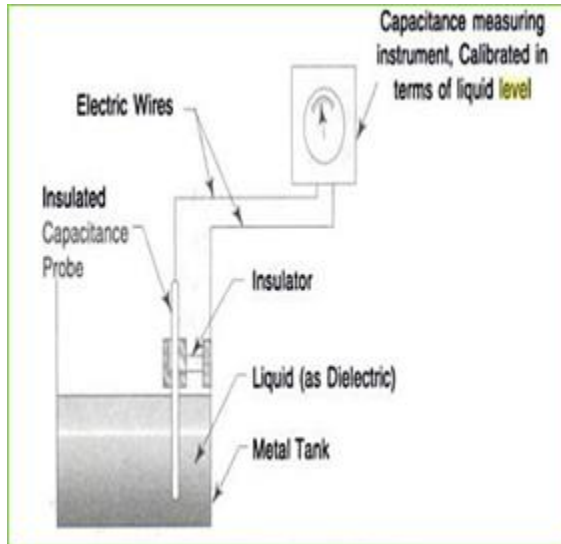
٢- لابد أن يكون السائل غير قابل للاشتعال إذا تكونت شرارة.

- كاشف المستوى السِعَوي:(capacity level detector)

ويطلق عليه أحياناً (مقياس المستوى ذو السعة)

مبدأ العمل: -

يعتمد هذا الكشف في عمله على عمل مكثف متوازي الصفائح (parallel plate capacitor) حيث:

$$C = K\frac{A}{D}$$

تتناسب سعة المكثف C طرديا ً مع مساحة الصفيحة A وعكسيًا مع المسافة بين الصفيحتين D ، فعلى فرض أن A , D ثابتين فإن سعة المكثف α ثابت العازل K وهذا هو مبدأ عمل الكاشف.

يتكون تركيب الجهاز من:

١- محبس سعوي معزول (probe) ومثبت.

٢- أسلاك كهربائية.

٣- وحدات قياس السعة أو مسجل.

طريقه القياس: -

يثبت المحبس قريباً من جدار الخزان وموازياً له. إذا كان السائل غير موصل للتيار (non-conductive) سيتكون مكثف صفيحته الأولى هي المجس والثانية جدار الخزان ويشكل السائل بينهما مادة العازل (dielectric). فعندما يرتفع مستوى السائل في الخزان ستزداد السعه والعكس صحيح، وستظهر هذه الزيادة على مؤشر أداة القياس فيما يكافئها من مستوى السائل وإذا كان السائل موصلاً، يشكل المكثف من المجس و السائل بينما تكون المادة المحيطة بالمجس بمثابة العازل بين الصفيحتين.

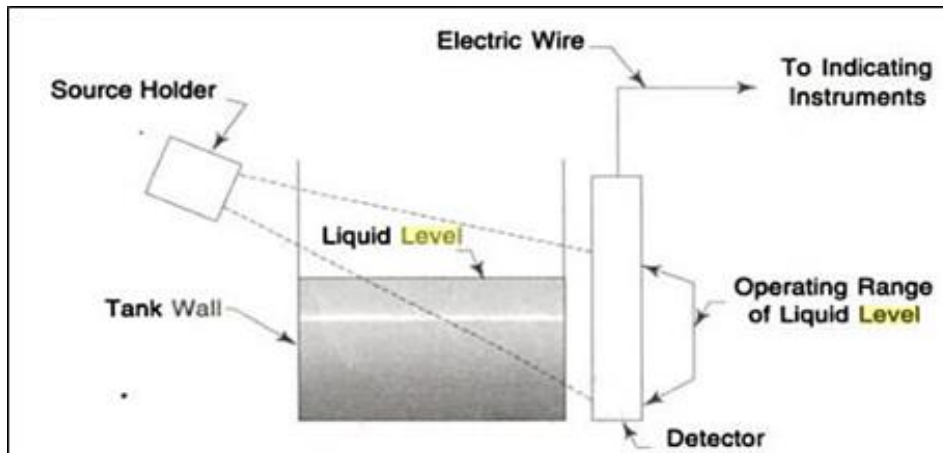
الحسنات:

1. مفيدة ومناسبه للأنظمة الصغيرة.
2. حساسة جدًا.
3. مناسبه جدا للعمليات المستمرة في القياس ولعمليات التحكم.
4. مناسبه لقياس مستوى الطين .(slurry)
5. لا توجد اجزاء متحركة معرَّضة للسائل.

السيئات:

1) يتأثر اداء القياس بوجود الشوائب والاوساخ (تغير ثابت العازل)
2) تتأثر حساسية القياس بتغير درجة الحرارة.
3) يجب إعادة معايرة أداة القياس إذا تغير تركيب السائل أو رطوبته.
4) طول المحبس يجب أن يكون مناسباً للخزان وكذلك تركيبه.

٤- الطرق الإشعاعية (Radioactive Methods)

عندما تفشل عملية القياس بواسطة الطرق الكهربائية، يتم استعمال الطرق الإشعاعية وكذلك عندما لا يكون مناسباً تلامس أداة القياس مع السائل.

قياس المستوى الإشعاعي: -

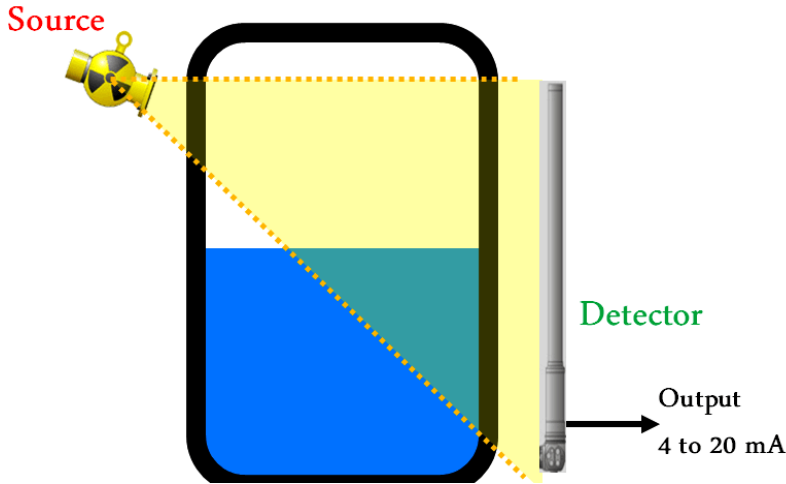
التركيب: -

- مصدر أشعة جاما.
- مستقبل الأشعة.
- أسلاك وأداة قياس.

عملية القياس: -

عندما يكون الخزان فارغاً، فإن أشعة جاما تخترق جدران الخزان والهواء بينهما، وعندما يدخل السائل ويرتفع المستوى في الخزان يمر شعاع جاما خلاله وخلال الجدران مما يقلل كمية الأشعة التي تصل إلى المستقبل (كاشف الأشعة). يشكل الفرق بين قرائتي مستقبل أشعة جاما مستوى السائل فيه، خاصة وأن فقدان الأشعة خلال الجدران ثابت سواء كان الخزان فارغاً ام ممتلئاً.

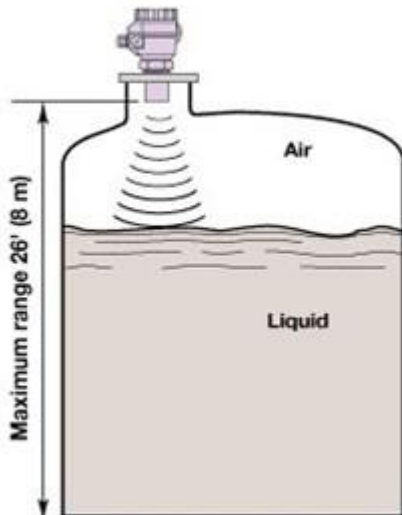
الحسنات:

1. لا يوجد اتصال بين الجهاز والسائل.
2. يناسب المعادن المصهورة وكل أنواع السوائل (اللزجة، الآكلة، ....).
3. مناسبة عند درجات الحرارة المرتفعة والضغوط المرتفعة أيضاً.
4. دقتها عالية واستجابتها سريعة.

السيئات: -

1. تتأثر القراءة بتغير كثافة السائل أو المصهور.
2. عالي التكلفة.
3. قد تحدث مشاكل مع المواد المشعة المستعملة.

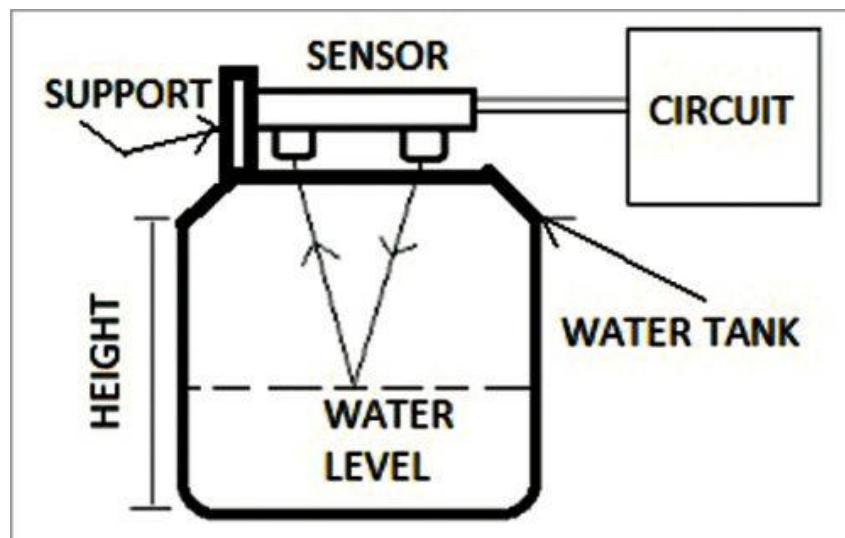
٥- الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic level detector)

التركيب: -

- جهاز إرسال الموجات فوق الصوتية (Transmitter)
- جهاز استقبال الموجات فوق الصوتية (Receiver)

عملية القياس:

يطلق جهاز الإرسال موجات فوق صوتيه بتردد 20.000 هيرتز (Hz) فيتم حساب الزمن اللازم لموجات الصوت لتنتقل إلى السائل وترتد عنه إلى جهاز الاستقبال هذا الزمن دليل لمستوى السائل في الخزان.

المميزات:

1. لا يوجد اتصال بين الجهاز والسائل (يقيس عن بعد).
2. الدقة عالية.
3. عالي التكلفة.

الوحدة الرابعة: قياس الضغط (Pressure Measurements)

مقدمة:

يعرف ضغط جسم ما على سطح معين بأنه عبارة عن مقدار القوه المؤثرة عمودياً على وحده المساحه، أي:

$$P = \frac{F}{A}$$

وكما هو الحال في المواد الصلبة فإن المواد السائلة كذلك تنتج ضغطاً عند وضعها على سطح ما ويسمى هذا الضغط بالضغط الهيدروستيكي و هو ضغط العمق (Hydrostatic pressure) ، حيث إن ضغط السائل يعطى بـ:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m\ g}{A} = \frac{(\rho V)\ g}{A} = \frac{(\rho A\ \ h)\ g}{A}$$

Then $\boxed{P = \rho\ g\ h}$

فإذا أخذنا عموداً من الماء ارتفاعه 1م فإنه يولد ضغطاً مقداره:

$$P = 1000\ \frac{kg}{m^3} \times 9.81\ \frac{m}{s^2}\ \times\ \ 1\ m\ \ = 9810\ \ kg/m.s^2\ \ \ = 9810\ Pa$$

**ويقاس عادةً ضغط السائل بعدة أمور: ضغط 1م من الماء او 1ملم من الزئبق ....

⁂ يعتمد ضغط السائل على: -

1. ارتفاع السائل.
2. كثافه السائل.
3. مقدار الضغط على سطح ذلك السائل.

<u>**وحدات الضغط:**</u>

1- النظام العالمي (SI-system): [P]= N/m² = Pa

ولأنها وحدة صغيرة نستعمل وحدة (bar) $1\ bar\ \cong\ 10^5\ \ Pa$

٢- النظام الانجليزي (British system) $[P] = \frac{lb_f}{in^2} = Psi$

٣- النظام الفرنسي (cgs system) $[P] = kg/cm^2$

<u>التحويل بين الأنظمة المختلفة:</u>

$$1\ Psi = 6.9 \times 10^3\ Pa = 6.9\ kPa$$

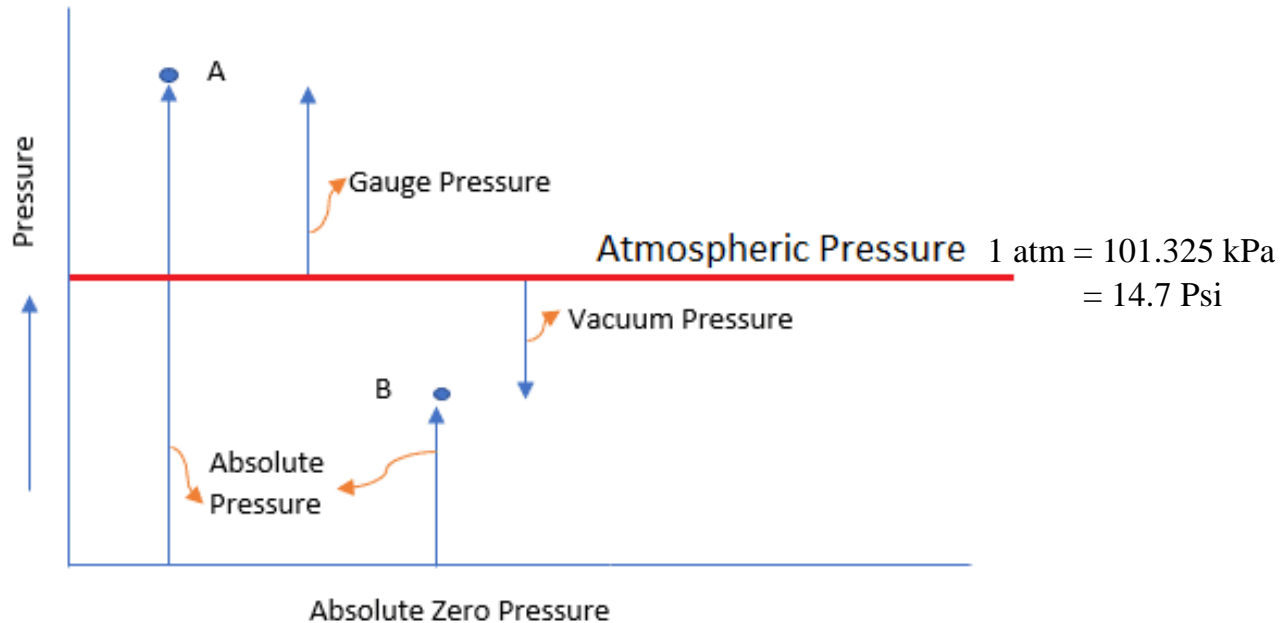
$$1\frac{kg}{cm^2} = 98.1 \times 10^3\ Pa = 98.1\ kPa$$

أنواع الضغط:

يعطى الضغط عادةً بأحد أشكال ثلاثة هي:

١- الضغط المقاس. (Guage pressure)

٢- الضغط المطلق. (Absolute pressure)

٣- الضغط الفراغي. (Vacuum pressure)

$$\boxed{P_{abs} = P_{atm} + P_g}$$

١- **الضغط المقاس او الضغط المقيس (Relative or Gauge pressure)** هو قيمة الضغط نسبة إلى الضغط الجوي ويرمز له بالحرف (g)

٢- **الضغط المطلق (Absolute pressure)** وهو الضغط المقاس نسبة إلى نقطة الصفر المطلق الذي يمثل حيزاً مفرغاً من الهواء تماماً؛ وهذه الحالة يصعب الوصول إليها. يسمى الصفر المطلق (Absolute zero). يُرمز للضغوط المقاسة بالنسبة للصفر المطلق (abs)

٣- **الضغط الفراغي (Vacuum pressure)** وهو الضغط الذي يقل عن الضغط الجوي وتكون قيمته سالبه نسبة للضغط الجوي وموجبه للصفر المطلق.

طرق قياس الضغط (Pressure Measurements)

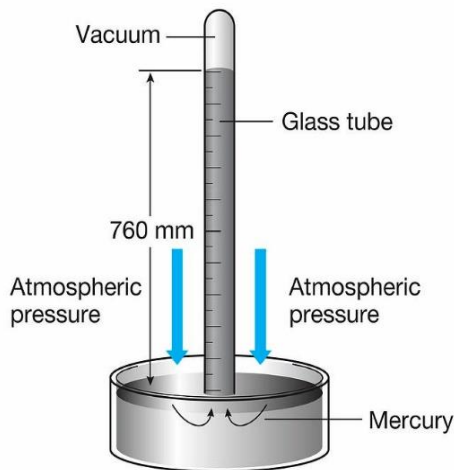
معظم الأجهزة المستخدمة لقياس الضغط يمكن تصنيفها خلال فئتين: -

١- أجهزة القياس الرطبة (wet) والتي تستخدم سوائل لقياس الضغط مثل الماء والزئبق منها البارومترات والمانومترات.

٢- أجهزة القياس الجاف (dry) ولكي تتكون من اجزاء معدنيه مرنه مثل ساعة الضغط، أنبوبة بوردن، المخدات الهوائية...

وهنالك أجهزة تعتمد على توازن القوى المبذولة على مساحة معينة مثل جهاز فحص الاوزان.

1- البارومیتر (Barometer)

يستخدم البارومیتر لقياس الضغط الجوي فقط بوحدات ضغط مطلقة (Absolute)، ويتكون من أنبوب زجاجي طويل مغلق من طرف واحد.

<u>عملية القياس:</u>

يُملأ الأنبوب بالزئبق كاملاً ويغلق الطرف المفتوح بغطاء مؤقت ثم يوضع على سطح الزئبق في وعاء مفتوح ويُزال الغطاء عن الأنبوب. ينخفض الزئبق داخل الأنبوب مسافة ويكوّن فراغ في الأعلى يتراكم فيه بخار الزئبق الذي يمكن إهماله لصغر قيمته (0.17Pa)

يقاس ارتفاع عمود الزئبق (h)، ويتم حساب الضغط عند سطح الزئبق:

$$P_{atm} = 0 + \rho g h$$

$$P_{atm} = \rho g h$$

يكون طول الانبوب عاده 30 in بما يعادل 76.0 cm

$$P_{atm} = 101.325 \frac{kN}{m^2} (kPa) = 0\ gauge$$

$$= 760\ mm\ Hg = 10.33\ H_2O$$

فإذا تم تعبئة الأنبوب بالماء ووضع على وعاء يحتوي ماء يتكون عمود من الماء ارتفاعه 10.33 متراً في حين يكون عمود الزئبق 0.76 متر.
بما أن الضغط الجوي ناتج عن عمود الهواء فوق السطح فإنه يعتمد على الموقع الجغرافي لنقطة القياس فيختلف مقداره على الجبل عنه عند سطح البحر لذلك لابد لأجهزة القياس بأخذ هذا التغير في عين الاعتبار.

* من الصعوبات التي تواجه قياس الضغط الجوي في مناطق مختلفة الارتفاع:

١- درجه الحرارة؛ انخفاض درجة الحرارة بزيادة الارتفاع يؤثر على ضغط الهواء حيث PV = n RT

٢- الهواء في الطبقات العليا يضغط على الهواء في الطبقات السفلى مما يزيد من وزن الهواء فوق السطح وبالتالي يزيده.

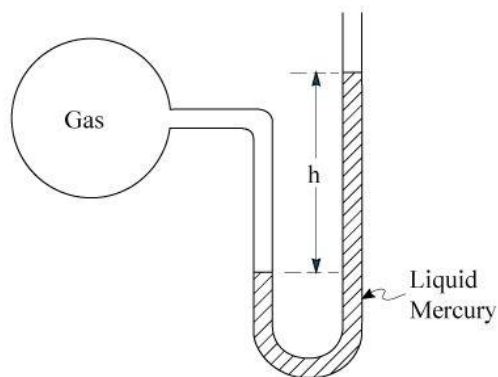
2- المانومترات (manometers)

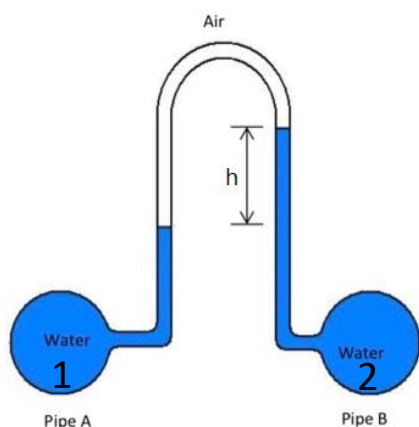
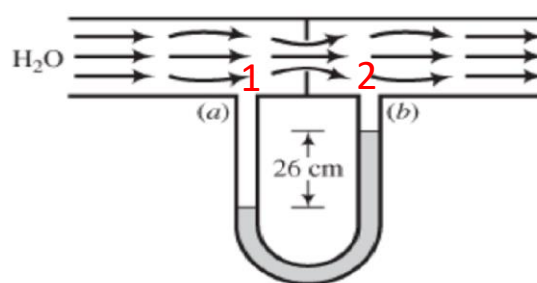
تعتبر المانومترات من أبسط طرق قياس الضغط وخاصه المنخفضة منها. يتكون من أنبوبة شفافة عمودية او مائلة تتصل بالخزان او الأنبوب المراد قياس ضغط المائع فيه؛ من السوائل المستعملة في المانومترات: الزئبق، الماء والزيت الأحمر. ينبغي لسائل المانومتر أن لا يمتزج مع سائل القياس وأن لا يتفاعل معه كيميائياً.

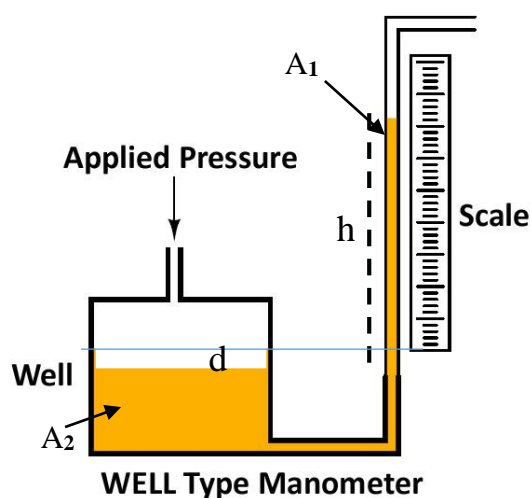
مبدأ العمل:

يتشكل الضغط نتيجة ضغط عمود السائل (ρgh)

هنالك عدة أنواع من المانومترات أشهرها: -

١- المانومتر البسيط (حرف-U): يتكون من أنبوب زجاجي على شكل حرف U ويحتوي على سائل (الزئبق مثلاً)؛ يتصل أحد طرفيه بالأنبوب أو الخزان المراد قياس الضغط فيه ويترك الطرف الآخر مفتوحاً للجو.

يتم حساب الضغط عن طريق الفرق بين سطحي السائل (الزئبق) في ساقي (أو طرفي) الأنبوب U

إذا أردنا قياس فرق الضغط بين نقطتين واقعتين على جانبي صفيحه مثقوبة تعترض الجريان في أنبوب معين، يمكن رابط المانومتر البسيط وقياس فرق الضغط ويسمى المانومتر في هذه الحالة المانومتر التبايني أو التفاضلي (differential manometer) ويمكن ربط المانومتر بأنبوبين مختلفين أو عبر أي تضيق في الأنبوب يسبب هبوطاً في الضغط.

Inverted manometer (المقلوب)

Differential manometer (التفاضلي)

$$P_1 - P_2 = \rho \ g \ h$$

٢- المانومتر ذو الحجرة (Well-type manometer)

يتكون من خزان يوصل آلية الضغط المراد قياسه فيما يرتفع السائل (الزئبق) في أنبوب رفيع متدرج يقرأ P ؛ بما أن حجم النقصان في مستوى السائل في الحجرة يساوي حجم الزيادة في الانبوب فإن:

$$A_2 \, d = A_1 \, h$$

$$P = \rho \ g \ \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) \ h$$

A1
Applied Pressure
h
Scale
d
Well
A2
WELL Type Manometer

حيث:

A_1: مساحة مقطع الأنبوب　　　A_2: مساحة مقطع الخزان　　　h : ارتفاع الزئبق في الأنبوب

ويمكن تدريج المانومتر ليقرأ من الضغط مباشرة.

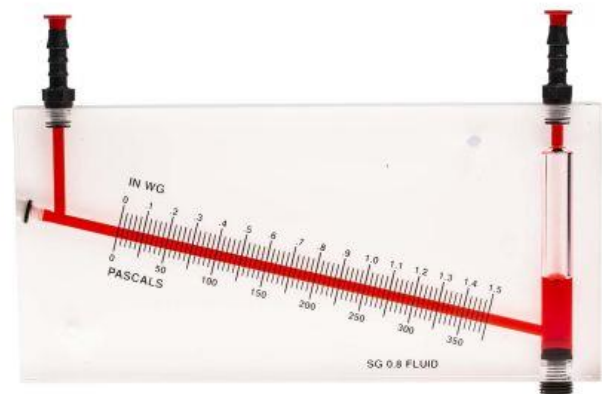
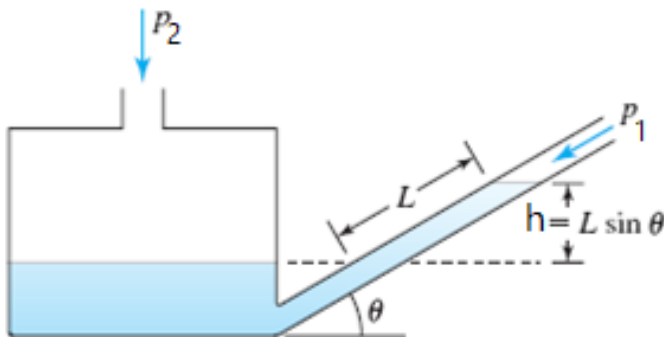
$$P = \rho \ g \ (h + d)$$

$$P = \rho \ g \ (h + \frac{A_1}{A_2} h)$$

$$P = \rho \ g \ h \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)$$

٣- المانومتر المائل (Inclined well-type manometer)

ويشبه المانومترات ذو الحجرة ولكن ساقه مائل بزاوية، ولكن هذا النوع يقدم حساسيه أكثر بسبب الساق المائل. يُقاس ارتفاع السائل بـ: h = L.sinθ

وبالتالي: $P = \rho \ g \left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right) L \, . sin\theta$

يمكن تدريج الأنبوب ليقرأ الضغط مباشرة؛ ويلاحظ أن الحساسية تتناسب عكسياً مع جيب الزاوية بمعنى تتناسب عكسياً مع الزاوية نفسها فكلما قلّت الزاوية زادت الحساسية.

* اخطاء القياس في المانومترات:-

١- تأثير الحرارة: في تغير القراءة عند زيادة درجة الحرارة.

٢- الخاصية الشعرية: لتقليل هذا التأثير نستعمل أنابيب أكثر من .(10mm)

٣- التوتر السطحي: لتقليل الخطأ نأخذ القراءة في منتصف الشكل المقوّس (تقعر، تحدب).

حسنات المانومتر:

١- بسيط ورخيص الثمن.
٢- دقة عالية وحساسية عالية.
٣- يغطي مجالاً واسعاً من الضغوط.

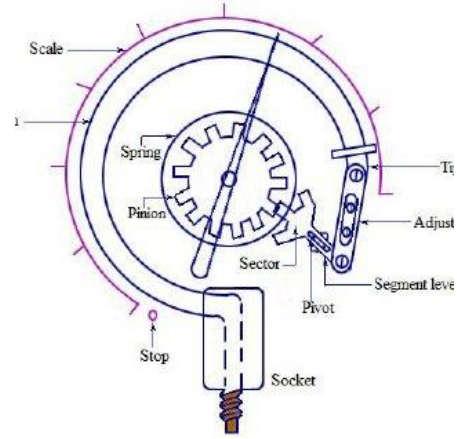
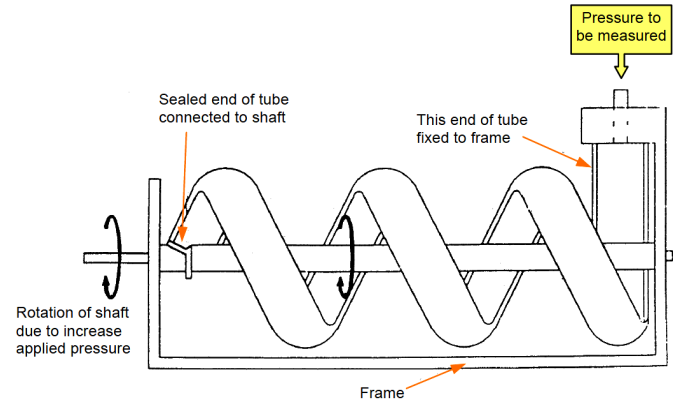
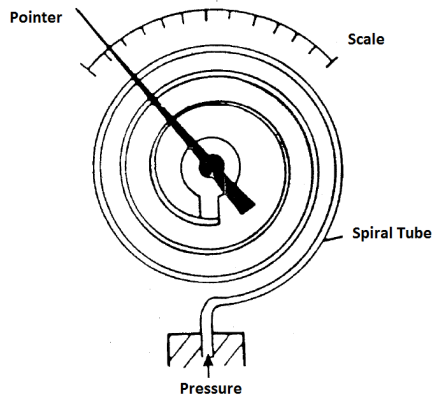
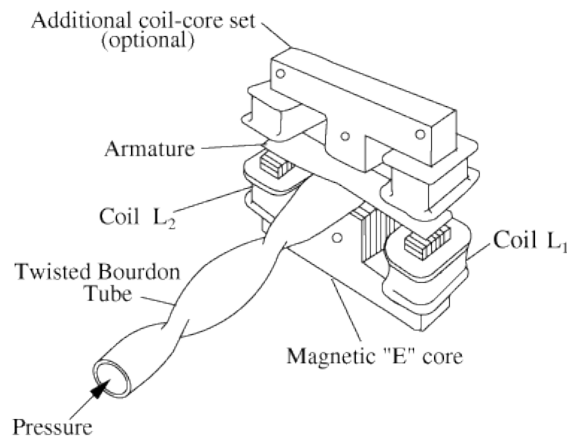
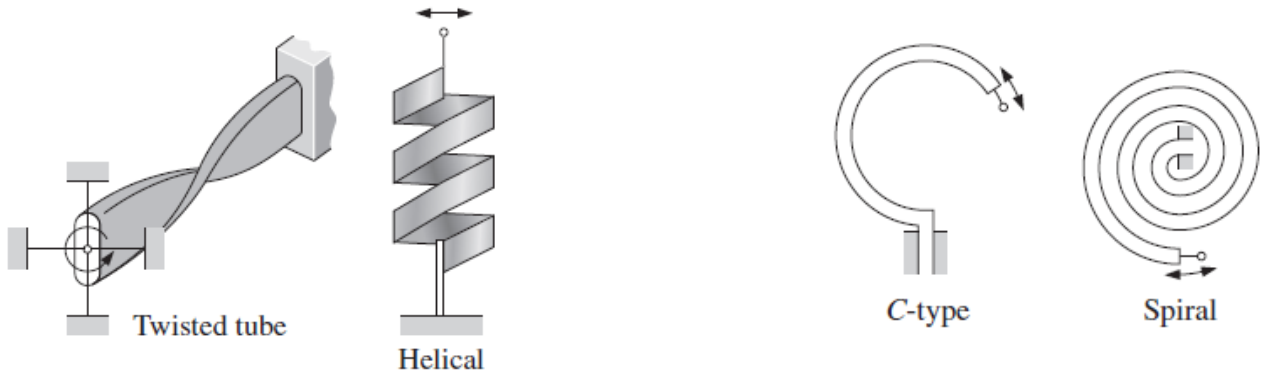
سيئات المانومتر:

١- كبير الحجم.
٢- لا يمكن نقله من مكان لآخر.
٣- لا يوجد حماية للقياسات الزائدة .(over range)

3- ساعة الضغط، أنبوب بوردن (Pressure Gauge)

وتسمى أيضاً "Bourdon Gauge"، استخدمت هذه المقاييس بشكل واسع جداً في العمليات الصناعية وعلى مدى أكثر من قرن من استخدامها تم إدخال كثير من التعديلات والتحسينات فيها سواء في البناء او المعادن المستخدمة او الدقة.

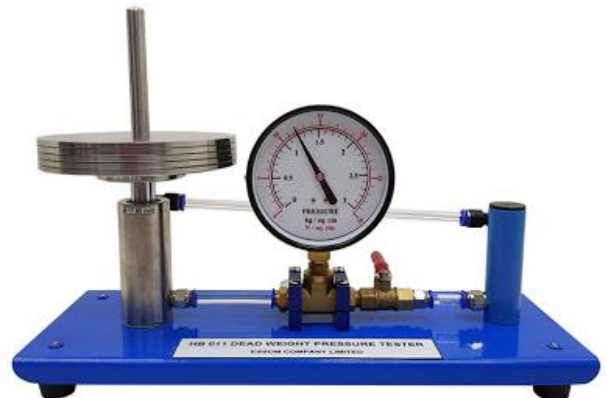
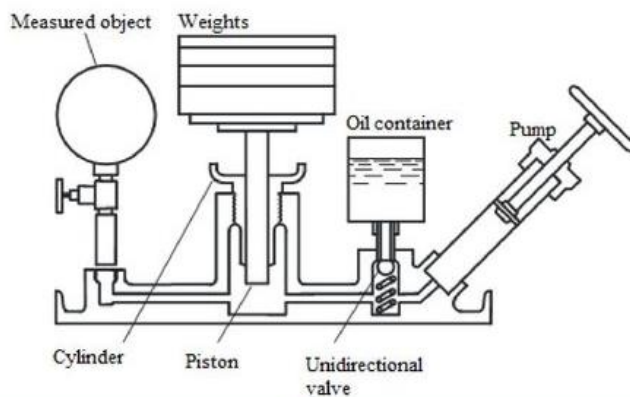
هنالك عده اشكال لأنبوبة بوردن وهي شكل C (shape - C)، اللولبي (spiral)، والحلزوني (helix)، و الالتوائي (twisted). اما الانبوب نفسه فيكون إما دائرياً او منبسطاً حسب نوع المادة المستخدمة في تصنيعه ويكون أحد نهايتيه مغلقاً وحراً بينما يدخل الضغط المراد قياسه من الطرف الآخر المثبت والمفتوح.

يتكون مقياس الضغط مقياس بوردن c-shape من أنبوب معدني منحني على شكل حرف C أو الهلال تكون إحدى نهايتيه مغلقة والأخرى متصلة بالخزان المراد قياس الضغط فيه.
عندما يدخل المائع في أنبوبة C يسبب انفتاحاً يتناسب طردياً مع الضغط فيحرك مؤشراً يبين مقدار الضغط، يقرأ مقياس بوردن ضغطاً نسبياً بسبب تأثير الضغط الجوي على السطح الخارجي للأنبوب ويقيس ضغوطاً تتراوح (0-15)psi إلى (0-10.00)psi وذلك بالاعتماد على نوع المعدن المستخدم ومدى استواء (flatness) الأنبوب ومساحة مقطع الأنبوب نفسه.

* تعتمد حساسية أنبوب بوردن على شكله أو طوله يمكن زيادة حساسية c-shape بزيادة قطره مما يزيد من مقدار حركة نهاية الانبوب لضغط ما، ولكن هذا يجعل الحجم كبيراً والجهاز غير عملي وتتم زيادة الحساسية عن طريق وضعه بشكل لولبي (spiral) او حلزوني (helical)

الشكل اللولبي (spiral) لأنبوب بوردن يزيد حساسية القياس، وكذلك الشكل الحلزوني (helical) حيث يكون الطول كبيراً والحساسية عالية؛ أما النوع الالتوائي فإنه عند تعرضه للضغط يحاول الغاء الالتواء وبالتالي يتحرك حركة دورانية تعتمد على مقدار الضغط داخل الأنبوب تكون هذه الحركة صغيرة غالباً ولذلك لا يستعمل هذا النوع حيث الحساسية مهمه وإنما يمتاز بصلابة وخفة وزنه ولذلك يستخدم في ظروف العمل القاسية. (harsh conditions)

المعدن المستخدم لصنع أنبوب بوردن يجب ان يمتاز بعدة صفات:

١- لا يتغير شكله الابتدائي عند تعرضه للضغط بشكل مستمر.
٢- إمكانية استخدامه لفترة طويلة بدون تلف.
٣- أن يرجع لشكله الابتدائي عند زوال الضغط عنه.
٤- أن لا يكون قابل للصدأ عند تعرضه لسوائل أخرى.

من هذه المعادن: البرونز، النحاس، الفولاذ الذي لا يصدأ والبرونز الفسفوري.

تتم معايرة أجهزة قياس الضغط بواسطة جهاز اختبار وزن السكون (dead weight tester) وهو جهاز لقياس الضغط أيضاً يعتمد في عمله على توازن القوى المؤثرة على مساحةٍ معروفة بواسطة قوة محددة. في هذا الجهاز يتم قياس القوة المؤثرة على مساحة المكبس مباشرة فيكون الضغط الناشئ $p = F/A$

يتم تثبيت جهاز القياس (أنبوب بوردن) اولاً بجهاز (اختبار وزن السكون) ثم يوضع وزن ما معروف على المكبس ويبدأ بتدوير البرغي (screw) فيقل الحجم ليزداد بالتالي الضغط داخل حجرة الزيت ويبدأ مقياس بوردن بقراءة هذا الضغط وعندما يصل الضغط أعلى قاعدة المكبس إلى نفس قيمة الضغط الناتج عن الوزن فإن المكبس يتحرك للأعلى وبالتالي يعاير المقياس (Bourdon) ليقرأ نفس قيمة ضغط الأوزان الموضوعة على المكبس ($P = F/A$)

الوحدة الخامسة: طرق قياس التركيز

Methods of concentration measurements

أجهزة التحليل المستخدمة في المختبرات والصناعة مختلفة ومتنوعة ولكن سنحاول التطرق لعدد من هذه الأجهزة

1- جهاز الامتصاص الذري atomic absorption
2- الكوماتوغرافيا chromatography
3- مقياس اللهب الطيفي flame photometer
4- مقياس الاستقطاب polarimetry
5- مقياس الانكسار refractometer

هذا وتجدر الإشارة الى ان الكروماتوغرافيا تشمل طرق عديدة في التحليل ولكن لضيق الوقت لا نستطيع ان نستعرض كل هذه الأنواع بل نتطرق لأربعة من أشهر هذه الطرق ويمكن الاطلاع على بقيتها من المراجع المناسبة.

<u>جهاز الامتصاص الذري atomic absorption</u>

مقدمة:

ان الطيف الذري يعتمد على اثارة الذرات (Excitation) ونقلها من الحالة الإلكترونية المستقرة الى الحالة الثارة (excited state) ورجوعها الى الحالة المستقرة stable وينتج عن ذلك ثلاث ظواهر طيفيه متلازمه هي : الامتصاص الذري atomic absorption والانبعاث الذري atomic emission والتفلور الذري atomic fluorescence .

الذرة في حالتها الالكترونية المستقرة , تصل الى الحالة الالكترونية المثارة E^* نتيجه لامتصاصها طاقه . تدعى هذه الظاهره بالامتصاص الذري عندما تكون هذه الطاقة على شكل فوتونات من الضوء وطاقه الرنين لها (resonance energy) تساوي الفرق في الطاقة بين E_0, E^*

عندما تثار الذرات بطاقه حراريه (heat) ويقاس الضوء المنبعث عند رجوع الذرات من الحالة المثاره تدعى هذه الظاهرة الانبعاث الذري (atomic emission) .

اما الظاهرة الناتجه عن الاثارة بالضوء ثم قياس الضوء المنبعث بعد رجوع الذرة الى الحالة المستقرة مباشرة فتسمى التفلور الذري atomic fluorescence

ان كلاً من الانبعاث الذري والامتصاص يعد من الطرق التحليلية شائعة الاستخدام , بينما لا يستخدم التفلور الذري بشكل واسع في التحليل الروتيني .

يمكن اذن تعريف التحليل بالامتصاص الذري بانه :

طريقه طيفيه لحساب او تقدير عنصر (او مجموعة عناصر) وذلك بقياس مقدار الامتصاص لشعاع رنين ذلك العنصر بعد مروره عبر نجازه الذري .

ان الميزه الكبيره للطيف الذري هي انتقائية العالية للعناصر المختلفة ويعد هذا السبب الى خصوصية قيم ΔE بين الحالة المثارة والمستقرة لذرات العناصر المختلفة

$$\Delta E = h \, . \, v \;\; = h \, \frac{c}{\lambda}$$

λ : الطول الموجي

h: ثابت بلانك، 6.626×10^{-34} J.s

c : سرعة الضوء، 3×10^{8} m/s

v: التردد الذي يحدث عنده الخط الطيفي المرتبط بالطاقة، هيرتز

وتدعى قيمة Lammda λ للامتصاص الخط او الشعاع وعندما يكون للضوء الممتص والضوء المنبعث الطول الموجي نفسه يدعى الخط او الشعاع بخط الرنين (Resonant line)

جهاز الامتصاص الذري اللهبي (Flame Atomic Absorption)

وهناك جهاز امتصاص ذري غير لهبي (Flame less AA) يختلف عنه بطريقة التذرية atomization للعنصر في احد مركباتة .

** يتكون جهاز الامتصاص الذري من :

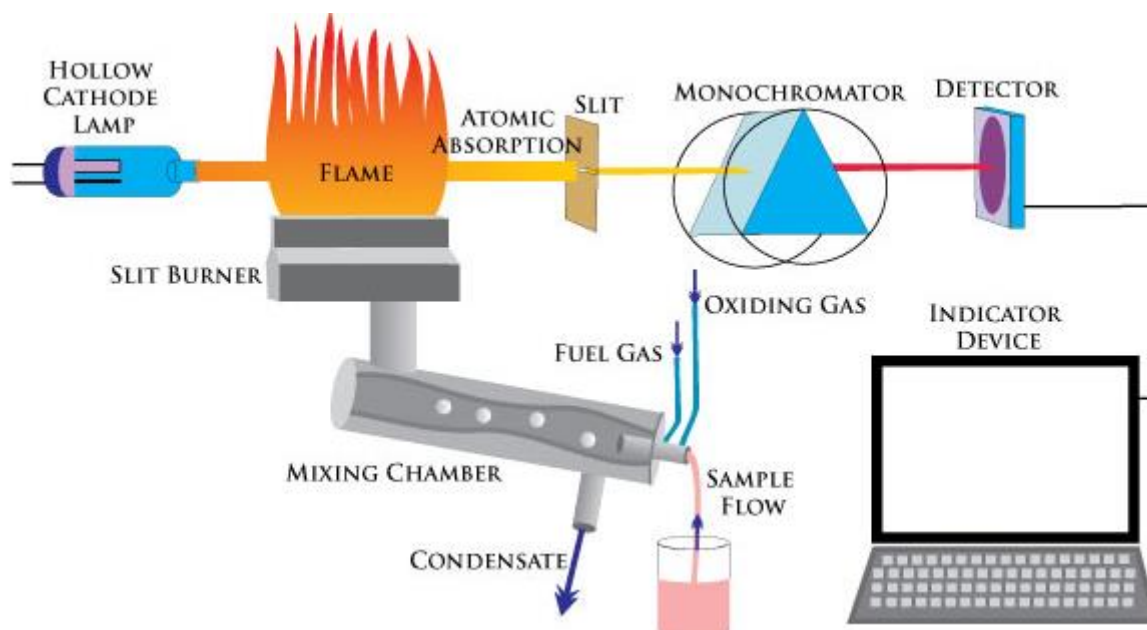
1- المصباح الكاثودي المفرغ (Hollow cathode lamp): وهو المصدر الضوئي للضوء الممتص يتكون من انبوبة زجاجية مغلقة ومجهزة بنافذة مصنوعة من الكوارتز لتسمح بمرور الاشعة فوق البنفسجية ويحتوي على غاز (الارغون مثلا) وقطبين تستخدم بينهما فولتيه عاليه. يكون الكاثود اسطواني ومصنوعا من فلز أو أكثر من الفلزات المراد تقديرها بينما يكون الأنود سلكا من التنجستن .

2- المرذاذ والموقد (Burner-nebulizer) : تتم عملية انحلال المحلول الى رذاذ دقيق (atomization) بواسطة سحب المحلول خلال أنبوب شعري بتأثير الضغط المنخفض الذري ثم يكسر الى قطرات دقيقة، اما الموقد فيتكون من حجرة الخلط المسبقة premixed chamber burner ويتم ترذيذ السائل الى حجرة الخلط ويخرج مع غاز الوقود بشكل اضطرابي ومع الغاز المؤكسد ثم تدخل الى رأس الموقد مادة باللهب بينما تتكثف القطرات الكبيرة وتصرف خارج الحجرة.

3- مفرق الطول الموجي (Monochromator) ويقوم بعزل أي ضوء غريب او عرضي ينتج عن اللهب.

4- الكاشف (Photo multiplier tube detector) : يعمل على الكشف عن الضوء المنبعث وقياس شدة الاشعاع المنبعث من اللهب ويتم تحويل الاشعاع المنبعث الى اشارة كهربائية ويقوم بتكبير الاشارة ثم تقرأ .

5- المسجل او الكمبيوتر لتسجيل قراءة الإشارة

وفي الأجهزة الحديثة يتم تحليل العينات بواسطة الكمبيوتر

العمل :

عند التشغيل تستخدم فولتيه عاليه بين الكاثود والانود (600 – 1000 V) وينتج عنها تيار (m A) يعمل على تاين الغاز الخامل (الارغون Ar) ويعطي ايونات موجبه Ar^+ تُعجّل باتجاه الكاثود السالب بطاقة عالية , وعندما تضرب به تسبب اطلاق الكاثود لبعض ذرات الفلز (sputtering) ويصبح على شكل بخار ويتهيج الفلز المتبخر الى المدارات الالكترونية العالية وعند عودتها الى الحالة المستقرة تبعث أشعة كهرومغناطيسية على شكل خطوط مميزه لذرات العناصر المنطلقة من سطح الكاثود. تمر هذه الخطوط خلال اللهب (الذي يحتوي على نموذج الفلز المُذرّر atomized ويمتص الفلز المُحلل analyzed element خطاً واحداً معينا ومن منطقة اللهب يمر الضوء المخفف الى (مفرق الطول الموجي) وأخيراً الى انبوبه الكاشف ويتم تكبير الإشارة المكشوفه ثم تقرأ وتسجل ويتم تحليلها .

⁂ اكثر أنواع اللهب المستعمل في الامتصاص الذري هو (اكسجين – اسيتيلين) وتكون درجة حرارته القصوى 3060 °C.

⁂ العناصر التي يتم تحليلها : حوالي 60 عنصر منها : Zn, Mn, Sc, Cr, Pb, Ca, Li, Ba, Al …

⁂ تكون قطرات العينات المحللة (5-10) مايكروميتر .

الكروماتوغرافيا Chromatography

مقدمة :

يمكن تعريف الكروماتغرافيا على انها تقنيه فصل الخليط من مكونات المذاب التي يحصل فيها الفصل بواسطة تفاوت الانتقال لكل من المكونات خلال وسط مسامي تحت تاثير الطور المتحرك. يمكن تقسيم الكروماتوغرافيا الى أربعة أنواع تعتمد على طبيعة الاطوار (phases) التي تلامس بعضها الى :

الاسم الشائع	الاسم النظامي	الطور المتحرك	الطور الساكن
كروماتوغرافيا التجزئة (التوزيع) partition chromatography	كروماتوغرافيا سائل –سائل (liquid –liquid) chromatography	سائل	سائل
كروماتوغرافيا الامتزاز adsorption chromatography	كروماتوغرافيا سائل – صلب (liquid- solid chromatography)	سائل	صلب
كروماتوغرافيا الغاز gas chromatography	كروماتوغرافيا غاز – سائل (gas - liquid) chromatography)	غاز	سائل
كروماتوغرافيا غاز- صلب gas-solid chromatography	كروماتوغرافيا غاز – صلب (gas- solid) chromatography	غاز	صلب

ان عبارة كروماتوغرافيا ماخوذة من كلمات اغريقية وتعني (الكتابة بالألوان) . تم اكتشاف وتسمية الكروماتوغرافيا عام 1906 من قبل عالم النبات الروسي سوت (Tswett) اثناء محاولته فصل صبغ نباتيه الى مناطق ملونه متميزه , حيث استعمل عمودا زجاجيا مملوءا بكربونات الكالسيوم (طباشير) كماده مازه تمز خلالها المادة المستخلصة من النبات المذابة في ايثر البترول حيث تكونت حزم خضر وصفر من الصبغه.

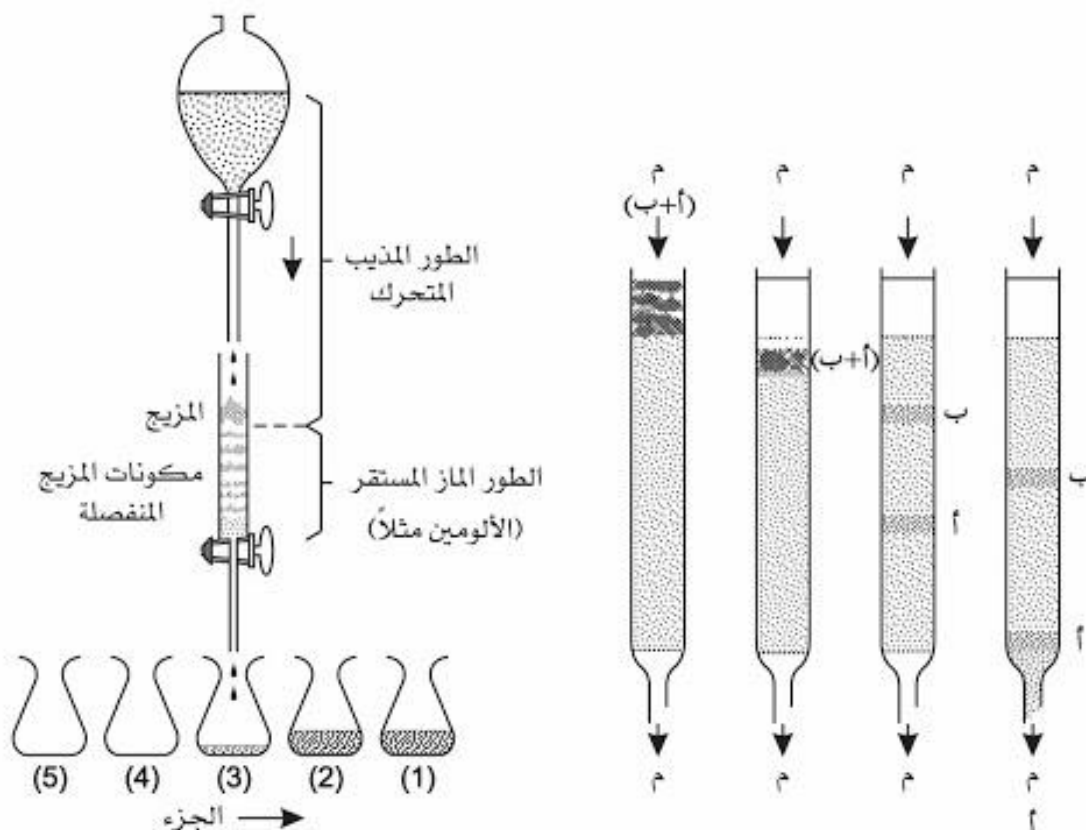
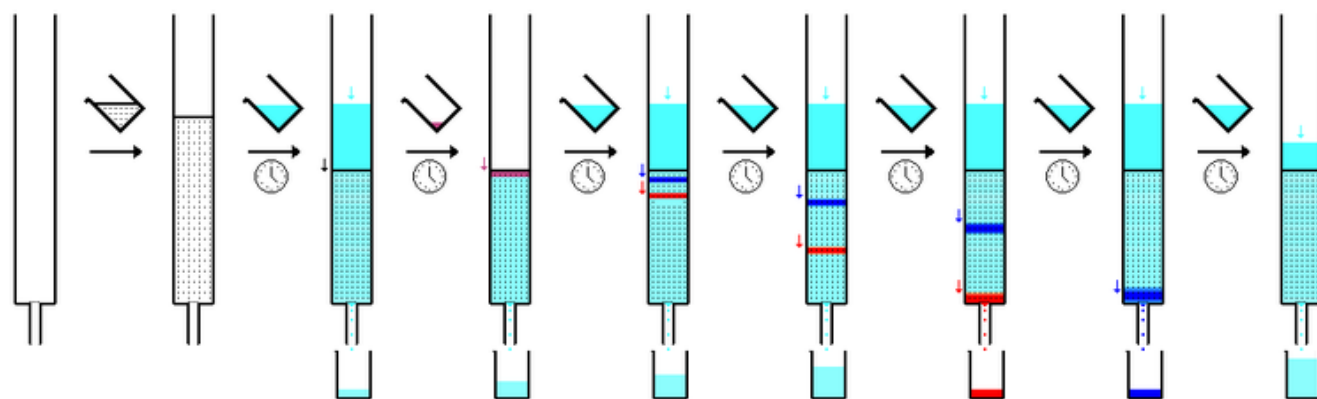
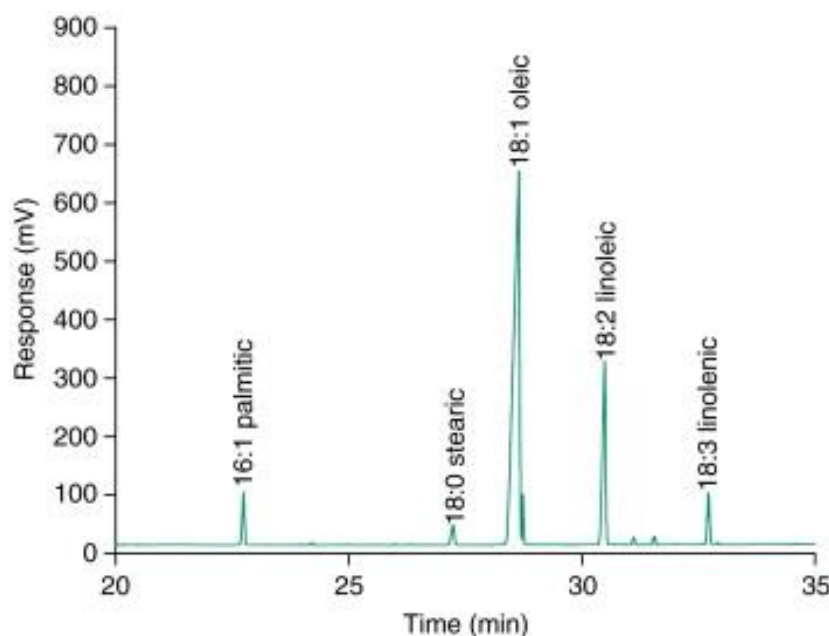
اما مارتن وسبنغ 1941 فقد قاما باستبدال الممتز (Adsorbent) الصلب لسائل ثابت وينتشر على السطح الصلب الخامل وغير ممتزج مع الطور المتحرك .

في الأيام الأولى للكروماتغرافيا العمود (Column Chromatography) كان فصل كميات قليلة صعبة لذلك تطورت تقنية كروماتغرافيا الورقة Paper chromatography يتم الفصل على أوراق ترشيح. وظهرت كذلك تقنيه كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة Tlc حيث ينجز الفصل على طبقات من الممتز المسند على صفائح من الزجاج .

1952 بواسطة مارتن وجيمس وفي السنوات الأخيرة زاد الاهتمام لنوع جديد هو كروماتوغرافيا السائل عالي الكفاءة (HPLC) وخاصة في المجالات الطبية .

مصطلحات مهمه في الكوماتوغرافيا :

تنجز معظم عمليات الفصل بواسطة كروماتوغرافيا العمود في عمود معبأ داخلة مادة صلبة حبيبية (granular solid) تدعى حشوة العامود (column packing) وتسمى بالساند الصلب (solid support) . عندما تغطى الحشوة بسائل او ترتبط كيميائيا الى مادة ما تقوم بحجز المواد المذابة المرغوب فيها .

يدعى المذيب المضاف : الطور المتحرك (Solvent) ويسمى المزيج (Eluent) بحشوة العمود: الطور الثابت .

ان عملية مرور المزيج خلال العمود ونقل المواد المذابة تدعى (الازاحة) elution والسائل المتدفق من نهاية العمل يدعى بالمزاح (eluate) . ويلاحظ في نهاية العمود وجود كاشف detector يمكن بواسطة قياس كمية المذاب . إضافة الى ان الإشارة الكهربائية المسجلة تتغير مع الزمن والحجم ويمثل المخطط حزما كروماتوغرافية للمواد الذائبة . يسمى هذا المخطط الكروماتوغرام

يعرف الزمن الذي تستغرقة الحزمة للظهور من التمدد بزمن الاحتباس Retention time ويقاس من النقطة التي يبدا فيها المذاب بالتحرك خلال العمود او بداية الحقن (injection) او حركة المزيج لحين ظهور اعلى استجابة للكاشف.

وتعرف نسبة الاحتباس R بانها :

$$R = \frac{\text{الزمن اللازم للمذيب للمرور خلال العمود}}{\text{الزمن اللازم للمذاب المرور خلال العمود}}$$

من اشهر طرق الكروماتوغرافيا :

1-كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (Thin Layer Chromatography TLC)

في هذه الطريقة , فان الطور المتحرك هو السائل والطور الثابت هو مادة قابلة للامتصاص(صلب) تثبت على صفيحة داخل وعاء يحتوي الطور المتحرك. تُصنف هذه الطريقة بانها من كروماتوغرافيا الامتزاز Adsorption Chromatography, و يحصل الفصل عندما يكون احد المكونات للخليط من مكونين او اكثر, يكون له قابلية على الامتزاز بالطور الصلب عن الاخر.

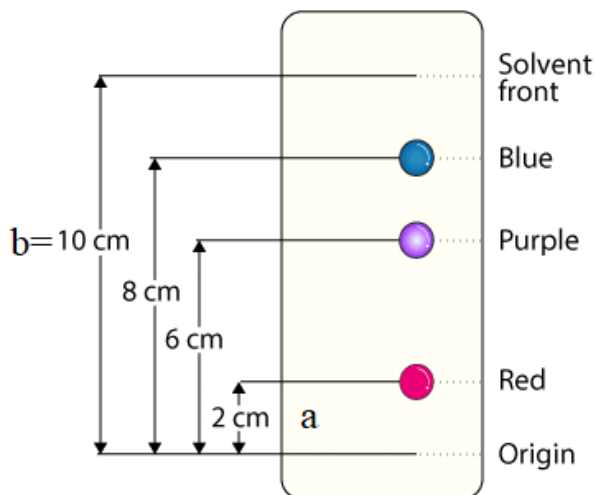
** وفي كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقه (TLC) :

<u>الطور الثابت</u> : صفيحه زجاج او المنيوم تطلى بطبقة رقيقة (0.5 مم) من جل السلكا (صلب)

<u>الطور المتحرك</u> : خليط عدة حجوم معينه من مذيبات مختلفة (سائل)

تدعى عملية الفصل بهذه الطريقة بالتظهير (development) والسائل بالمظهر . ينتقل المظهر (الطور المتحرك) الى اعلى خلال طبقة الصلب وذلك خلال المساحات الصغيرة بالخاصية الشعرية (capillary action) . فحركة المذيب نحو الأعلى تسمى (التقنيه الصاعده) ونحو الأسفل تدعى (التقنيه الهابطه) بفعل الجاذبية الأرضية .

عملياً توضع نقطة من المادة المراد فصلها (حيز احمر مثلاً) على مسافة 2 سم من قاعدة الصفيحه ثم نغمسها في المظهر داخل الوعاء (ماء مقطر, حامض خليك, بيوتانول) بعد ان تتم عملية الفصل, ناخذ الصفيحه ونجففها وتدعى الكروماتوغرام Chromatogram ونحسب معدل الانسيابيه لكل مادة مفصولة .

$$(R_f) \text{ معدل الانسيابية } = \frac{a}{b} = \frac{\text{المسافة التي تحركها المادة من نقطة الأصل}}{\text{المسافة التي تحركها المذيب على الصفيحة}}$$

مثال :

$$R_{f,red} = \frac{a}{b} = \frac{2}{10} = 0.2$$

2- كروماتوغرافيا الورقة (Paper Chromatography)

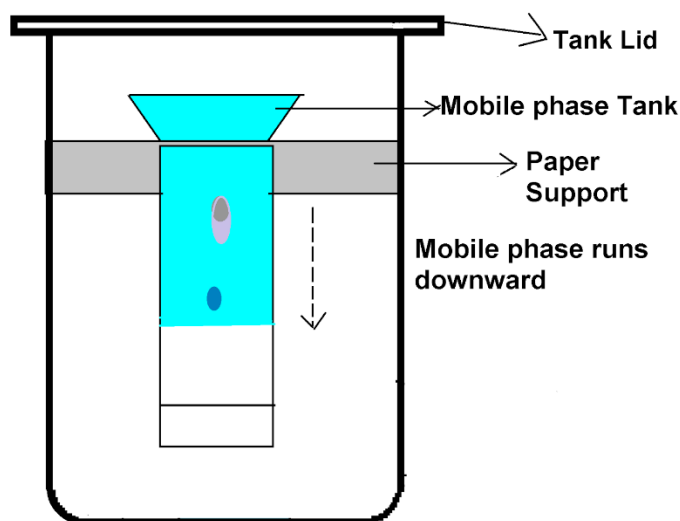
تعتبر هذه الطريقة من تقنيات كروماتوغرافيا التجزؤ او التوزيع (partition chromatography) حيث يكون الطور الساكن (الثابت) سائلا والطور المتحرك سائلا أيضاً.

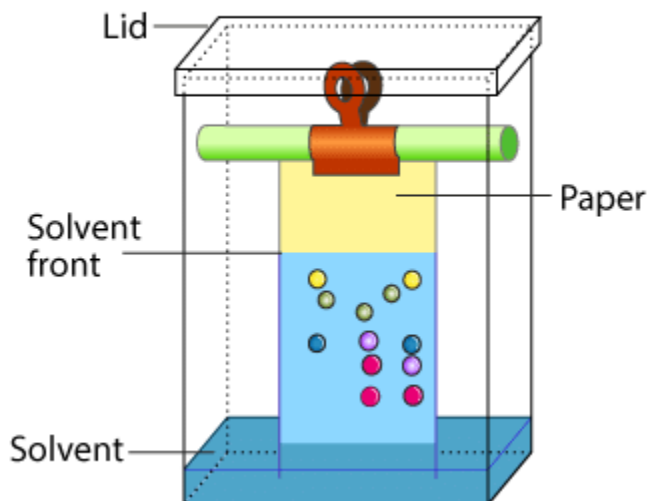
هناك 3 انواع من كروماتوغرافيا الورقة :

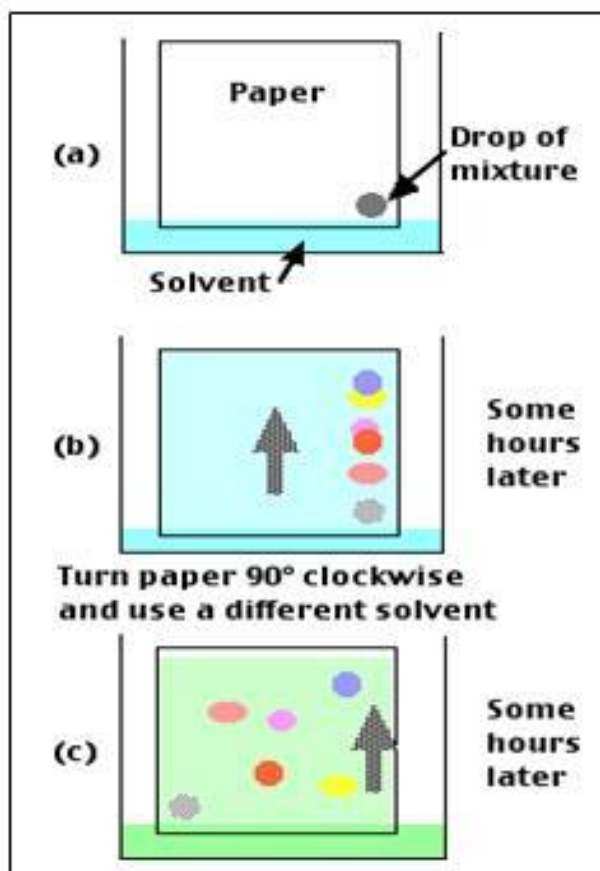
1- كروماتوغرافيا الورقة الهابطة
2- كروماتوغرافيا الورقة الصاعدة
3- كروماتوغرافيا الورقة باتجاهين

1- كروماتوغرافيا الورقة الهابطة :

تتم عملية الفصل فيها بفعل الخاصية الشعرية والجاذبية الأرضية معاً. تتألف الورقة من ألياف سيليلوزية تحتوي على الماء الذي يمثل الطور الساكن ويتوزع الماء بين الورقة وبين المذيب العضوي (الطور المتحرك)

يوضع مذيب التظهير (كما في TLC) في قناة مصنوعة من مادة خاملة تركب داخل حوض الكروماتوغرافيا ثم تعلق الورقة في المذيب ويغطى الحوض باحكام ونتركه لفتره. عند الانتهاء من الفصل يؤخذ الكروماتوغرام ويحسب معدل الانسيابية لكل مادة . ويمكن التعريف على المواد من خلال معدل الانسيابية الخاص بها.

2- كروماتوغرافيا الورقة الصاعدة :

في هذه التصنيف يوضع المذيب في قعر الحوض وتعلق الورقه داخلها او تُلف بشكل اسطواني ثم تُغمس الورقة داخل المذيب. ويحسب R_F كما سبق. تتم عملية الفصل بفعل الخاصية الشعرية فقط .

3 - كروماتوغرافيا الورقة باتجاهين:

تستخدم هذه الطريقة لفصل مخاليط معقدة بحيث يتم فصلها بطريقة الكروماتوغرافيا باتجاة واحد (صاعده او هابطه) يكون جزئيا ومتداخلاً لذلك يستخدم مذيب اخر وتدار الورقة بزاوية 90 ثم يظهر الكروماتوغرام مرة ثانيه .

3- كروماتوغرافيا الغاز (Gas chromatography GC)

لقد نشا كروماتوغرافيا الغاز منذ عام 1957 ويعد من الوسائل ذات الأهمية الكبرى في الكيمياء التحليلية اذ يستخدم لفصل الغازات والمواد المتطايرة (السائلة والصلبة) . تعتمد طريقة كروماتوغرافيا الغاز على توزيع مكونات الخليط بين طور متحرك (غاز خامل ناقل) وطور ساكن (مادة صلبة) كما في كروماتوغرافيا الغاز بالامتزاز (Adsorption GC) او يكون الطور الساكن (ساند صلب) كما في كروماتوغرافيا الغاز بالتجزؤ (Partition GC)

كروماتوغرافيا الغاز يتكون من :

1-غاز ناقل (N_2, Ar, He, H_2)

2- صمام التحكم بسريان الغاز

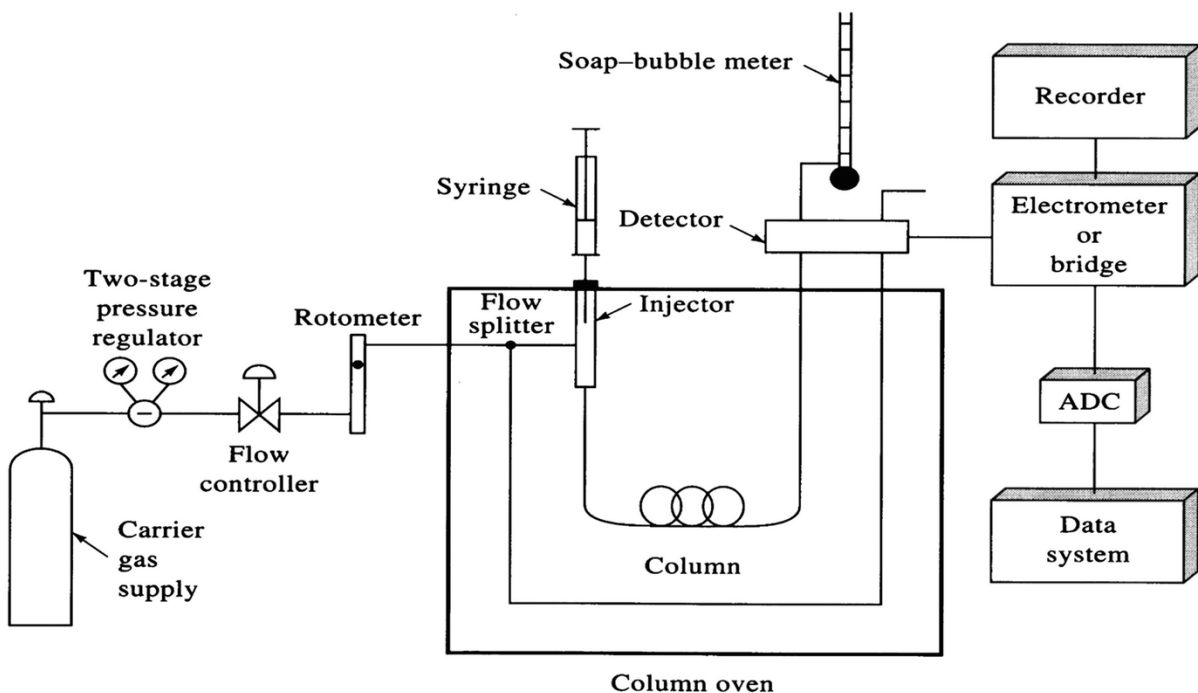
3- مانوميترات لقياس الضغط

4-عمود الفصل (الامتزاز)

5-كاشف

6- منظم حرارة (f)

7- مقياس الانسيابيه

8- مسجل

يتم الحصول على الغاز الناقل من أسطوانة الغاز ويسيطر على سريان الغاز بواسطة الصمام ويقاس الضغط في عمود الامتزاز (الفصل) بواسطة مانومترات عند نهايتي العمود كما تقاس سرعة جريان الغاز بواسطة مقياس الانسيابية عند خروجه من الجهاز. عندما تكون درجة غليان المواد المراد فصلها اعلى من 60^{o} مئويه فيجب حفظ عمود الفصل والكاشف عند درجة حرارة عالية ثابتة ويوضع العمود أحيانا في حمام بخاري.

يتكون العمود من زجاج او (stainless steel) بطول (5 - 1.5) امتار وقطر (2 - 10) ملم، ويتكون من (جل السيليكا والالمونيا والكربون المنشط) حجم العينه (0.1-1.5) ملليمتر .

<u>طريقة القياس :</u>

تُحقن كمية صغيرة من الخليط المراد تحليلة في مقدمة عمود الفصل وتفصل محتويات الخليط عن طريق حركتها الجزيئية خلال العمود وتزاح بصورة مستقلة من العمود مع الغاز الناقل وتمرعندئذ خلال الكاشف (detector) ثم تسجل الإشارة

الخارجة من الكاشف معطية كروماتوغرام . تعتمد درجة الفصل على معاملات تجزؤ الخليط في النظام ذي طورين وعند عدم اختلاف المعاملات لا تنفصل المكونات بصوره تامه.

يستعمل كروماتوغرافيا الغاز في فصل السكريات , الحواض الامينيه , الببتيدات والمركبات الهيدروكربونية العطريه ذات درجات الغليان العالية (المشتقات البترولية).

4- كروماتوغرافيا السائل عالي الكفاءة (High Performance Liquid Chromatography HPLC)

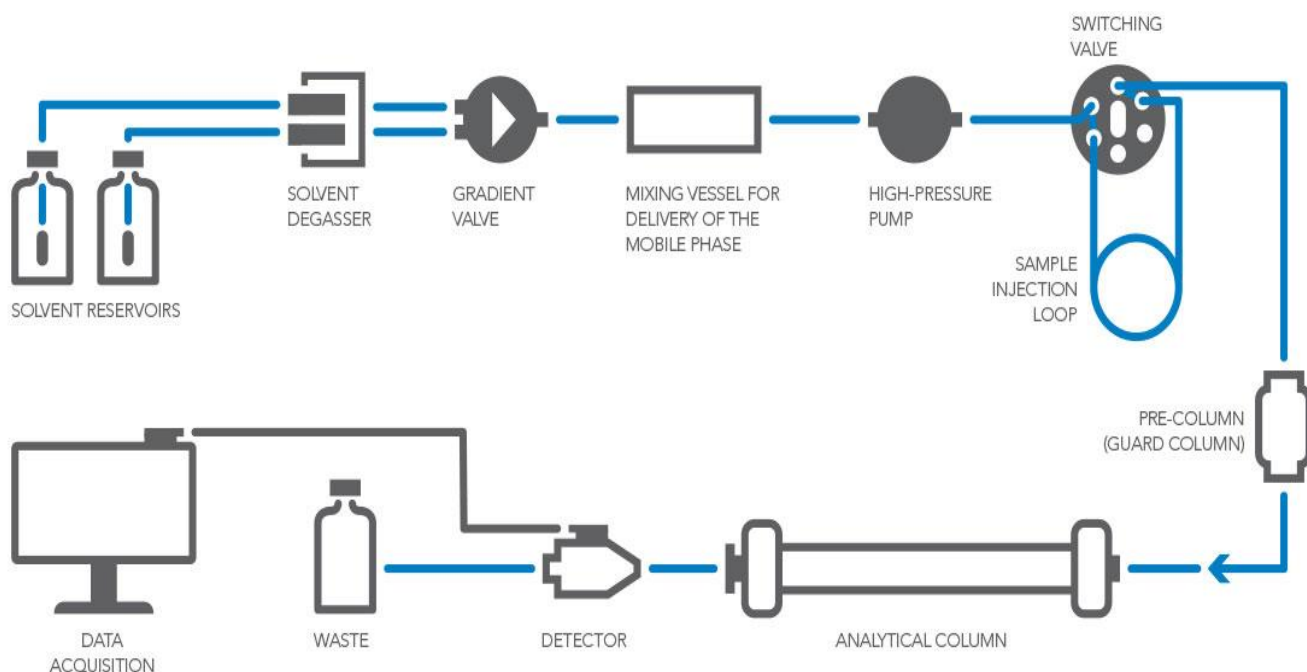
إن هذه الطريقة تعتبر من تقنيات كروماتغرافيا الامتزاز(سائل – صلب). يكون الطور المتحرك (السائل) ذا جزيئات اصغر حجما من تلك المستخدمة في كروماتوغرافيا العامود الاعتيادية, كما يستخدم ضغط عالي لجعل الطور المتحرك يخترق عمود الفصل. ان كروماتوغرافيا HPLC تنتج تحليلاً افضل بكثير من العامود الاعتيادي , يتكون الكروماتوغرافيا من رقم الحزم peaks وكل قمة حزمة تمثل مادة معينة .

يتكون جهاز Hplc من :

1-مضخة فراغية (vacuum)　　2- اوعية المحلول عدد2

3- مضخة ترددية تعطي ضغطا عاليا (psi1000)

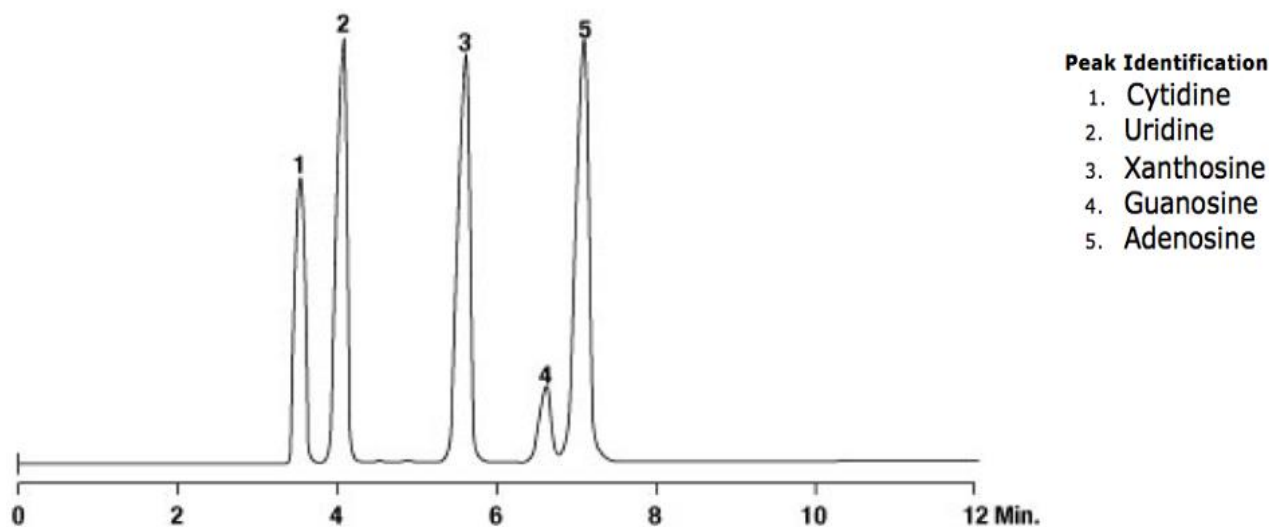
4- عامود مسبق (Pre-column)　　5- صمام الحقن (Injection)

6-عامود الفصل والتحليل　　7-مكشاف (detector)　　8-مسجل وكمبيوتر

تحقن العينة في صمام الحقن في مقدمة عامود التحليل (الفصل) وتفصل محتويات الخليط عن طريق حركتها الجزيئية ويتم تحليلها بواسطة المكشاف ثم تسجل الشارة مُعطية الكروماتوغرام.

عند استعمال عمود فصل تكون التعبئه فيه جسيمات قطرها (5-10) ميكروميتر, فان معظم الجزيئات المذابة تسلك طريقاً منتظماً خلال مرورها بالعمود وهذا يقلل الانتشار الدوراني. وتعطي حزما اكثر حدة. و تقوم الاعمدة المسبقة (pre-column) بتقليص الشوائب من السائل وتكون جزيئاته اكبر منها في عمود التحليل.

تتكون الاعمدة التحليليه في HPCL من فولاذ عديم الصدا قطرها (2-5) مم وبطول (10-150) سم وتتكون الحشوة من جل السيليكا او الالومينا او الكالسايت.

يكون مكشاف HPLC معتمدا على امتصاص الاشعة فوق البنفسجية وحساسا جدا للمركبات العضوية

تستعمل HPLC لفصل البروتين بانواعه ويوريدين guanosine, adenosine, Uridine وغيرها .

1. Given the HPLC chromatogram above for a mixture of nucleosides, calculate the resolution between the Guanosine and Adenosine peaks using your best estimate of the required parameters from the chromatogram.

طرق وأجهزة قياس التركيز

مقدمة :

من المعروف ان ذرات العناصر الأحادية (K , Li, Na) تكون في الحالة العادية على مستوى معين من الطاقة , وكذلك من المعروف ان الحزمة الضوئيه تحتوي على كمية معروفه من الطاقه بشكل فوتونات ومقدار طاقتها E تحسب :

$$\Delta E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

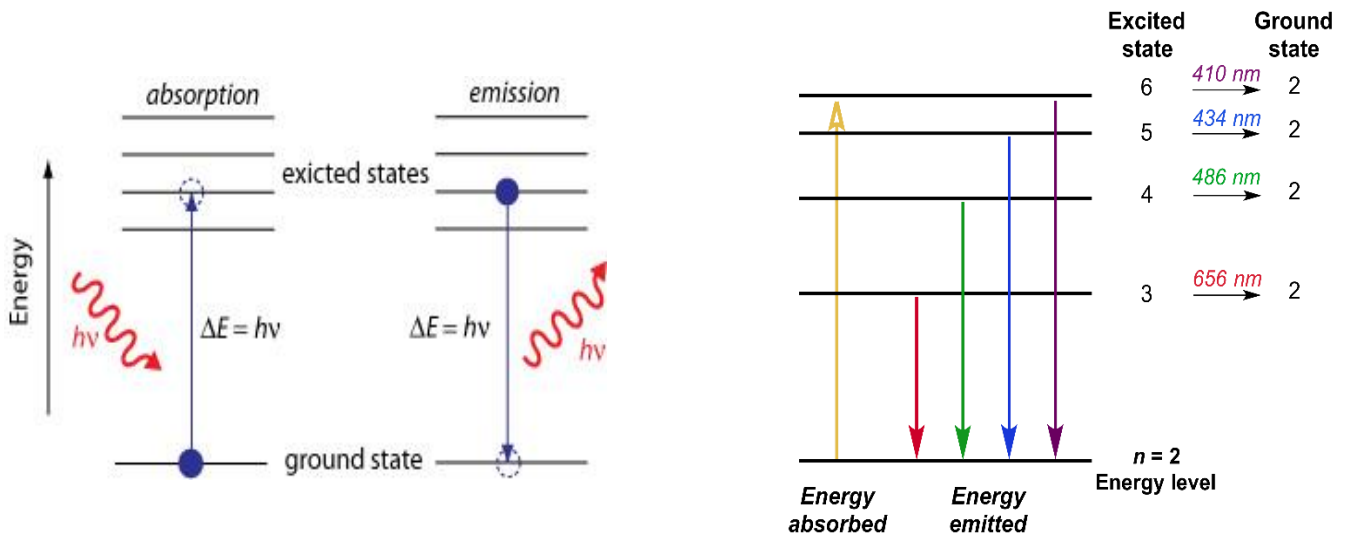
حيث E: طاقة الفوتون

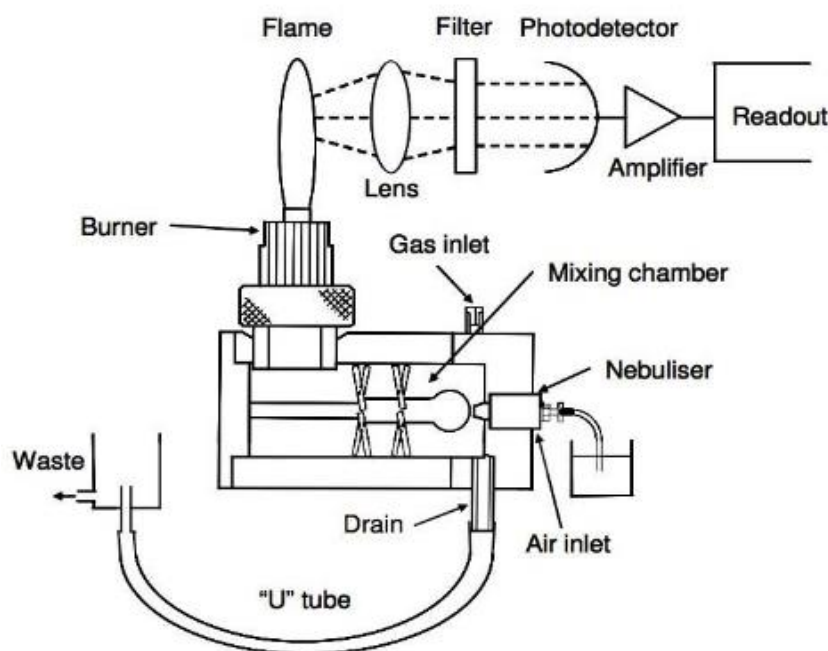
h: ثابت بلانك

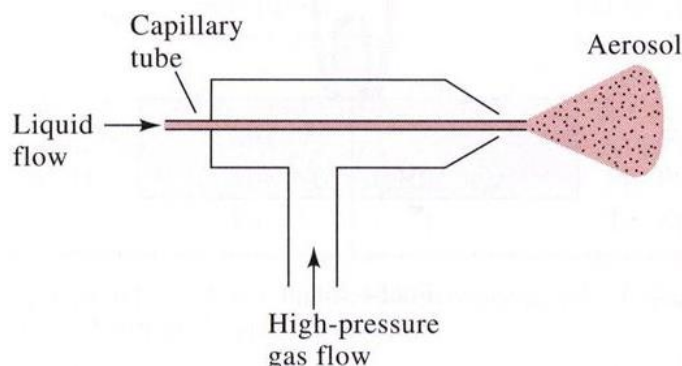
C: سرعة الضوء

λ: الطول الموجي

فاذا وضعت ذرة أحادية في طريق حزمة ضوئية فان هذه الذرات سوف تمتص جزءاً من طاقة الاشعاع ونتيجة لذلك تنتقل بعض الكتروناتها الى مستوى طاقة اعلى وهذا يعني ان تحول الذرات من حالتها المستقرة الى الحالة المستثارة او المستفزة.

ان فترة امتلاك الذرات المستثارة لهذه الطاقة فترة قصيرة جدا (أجزاء من الثانية) لذلك تحاول ان تتخلص منها باطلاق فوتونات بأطوال أمواج مختلفة ولها طاقة ذات قيمة مميزه لها. تسمى هذه الطريقه من التخلص من الطاقه بالانبعاث الرنيني (Resonance) وفيه يبعث فوتون له تردد الفوتون الممتص. ان شدة اطلاق الفوتونات (الشعاع المنطلق) من الذرات المستقرة تناسب طردياً مع تركيز ذرات العنصر الموجودة في العينة.

مقياس اللهب الطيفي :

يعتمد عمل الجهاز على خاصية محاليل بعض المواد غير العضوية (K, Li, Na) وذلك عند نثرها في اللهب، بان تتحول هذه المكونات الى ذرات حرة وايونات أحادية وهذه الايونات والذرات تمتص جزءا من الاشعاع (الفوتونات) التي يطلقها اللهب. تتناسب شدة الاشعاع مع تركيز الذرات والايونات وبعد ذلك تقوم باطلاق الطاقة التي امتصتها على شكل شعاع خاص له طول موجه مميز لها. يتم فصل اطوال الأمواج الأخرى بواسطة فلتر خاص و ثم يمرر الشعاع المطلوب على خلية كهروضوئيه لتحويل الشعاع الى تيار كهربائي يتناسب مع شدة الشعاع نفسه. باستعمال مضخم للتيار وجهاز قياس له ممكن معرفة تركيز المادة غير العضوية المطلوب .

يتكون مقياس اللهب الطيفي من (Flame Photometer) :

1- المرذاذ (Atomizer or nebulizer) ويقوم بتحويل المحلول الى ذرات.

2- غرفة الاحتراق (combustion chamber) يتم فيها خلط الهواء مع غاز البيوتان (غاز الطبخ) للحصول على اللهب. وظيفة اللهب تحويل المحلول الى ذرات حرة وايونات حرة واطلاق شعاع ضوئي

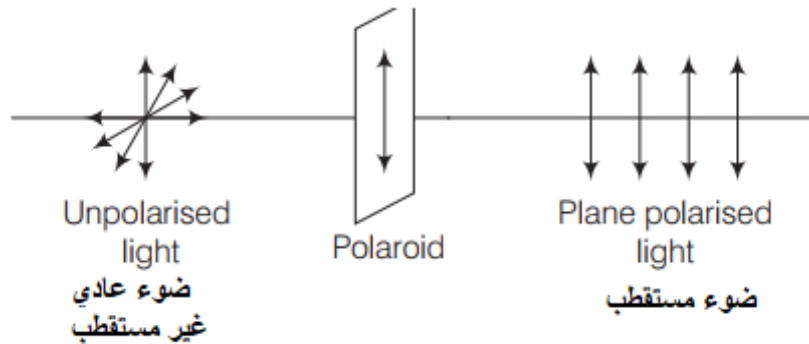
3- الفلتر (Filter): وهو عبارة عن زجاج ملون او صباغ مخاوط مع جلاتين موضوعة بين صفيحتي زجاج. وظيفتة ان يقوم بامتصاص جزء محدد من الاشعاع ذو طول موجة معينه (موجة Na او غيرها). يمكن التحكم بطول الشعاع المار خلال الفلتر اذا اخترنا لون الزجاج او اختيار سمك طبقة الصباغ .

4- الكاشف (photodetector) وهو عبارة عن خلية كهروضوئية وظيفتها تحويل الشعاع الساقط عليها من الفلتر الى تيار كهربائي تتكون من قطب سالب متصل مع مصدر ثابت للجهد السالب. وقطب موجب على شكل سلك معدني ويكون القطب السالب مغطى بطبقة حساسة للاشعاع، فاذا سقط عليها اشعاع فانها تطلق الكترونات تتناسب مع شدة الاشعاع فتنتقل الالكترونات الى القطب الموجب مكونة تيار كهربائي بينهما.

5- المضخم (Amplifier) : يقوم الجهاز بزيادة وتضخيم التيار الكهربائي القادم من الكاشف وتظهر على شاشة الجهاز (Read out)

مقياس الاستقطاب Polarimeter

يتضمن الاستقطاب قياس تغيير اتجاة تذبذب الضوء المستقطب عند تأثره وتجاذبة مع المواد الفعالة بصرياً او المواد النشيطة ضوئياً Optically Active Compounds (OAM) . وهنالك عدد كبير من المواد لها هذه الصفه وتتميز بفقدان الانتظام او التناظر Symmetry في تركيبها الجزيئي او البلوري . تختلف درجة دوران مستوى الضوء المستقطب (Polarized light) كثيراً من مادة لأخرى .

يوجد نوعان من الضوء العادي هما الضوء المستقطب (الذي تسير اشعته باتجاة واحد متوازي) والضوء غير المستقطب ويكونان متداخلين مع بعضهما البعض واذا أردنا الحصول على ضوء مستقطب فقط فاننا نمرر الضوء العادي على OAM مثل الكالسيت الذي يمرر الضوء المستقطب فقط ويمتص باقي الاشعة .

واذا كان دوران الاشعة دوران يميني (باتجاة عقارب الساعة) يسمى Dextro rotation ويكون دورانا يساريا (عكس عقارب الساعة) ويسمى Levo rotation .

Levo rotation

Detrox rotation

يصبح من المميز الذي يجعل مادة الوسط (sample) فعالة بصريا او نشيطة ضوئيا هو اظهار معاملات انكسار مختلفة للضوء المستقطب دائريا نحو اليمين واليسار، لكون سرعة الضوء الذي يمر خلال وسط ما يكون دالة أو اقتران (function) لمعامل انكسار الوسط ويدعى هذا (دوران مستوى الاستقطاب) أي ان الزاوية (α) لا تساوي صفر .

تعتمد α (زاوية الدوران) المقاسة بالدرجات القطرية / وحدة طول على الطول الموجي للضوء الساقط ومعامل انكسار الضوء المستقطب دائريا نحو اليمين واليسار .

ويمكن تحويل زاوية الدوران (α) الى زاوية الدوران النوعي [α] ووحداته (درجات قطرية / (ديسمتر. تركيز))

$$\alpha = \frac{\alpha}{C} \times \frac{100}{\pi}$$

حيث c: تركيز المحلول (g/ml)

α: زاوية الدوران درجه/ ديسمتر (dgree /dcm)

تعتمد زاوية الدوران على عدة عوامل :

1- طبيعة المادة الموجودة بالمحلول
2- طول الممر خلال المحلول الذي يعبره الضوء المستقطب
3- طول موجة الضوء الساقط
4- درجة حرارة المحلول
5- تركيز المحلول

مثال : يمكن حساب تركيز السكر في مقياس الاستقطاب (او مقياس السكريه saccharimeter ويقيس السكروز فقط)

فتكون زاوية الدوران النوعي $[\alpha]_D^T$ هي :

$$[\alpha]_D^T = \frac{100 \times \alpha}{b \times c}$$

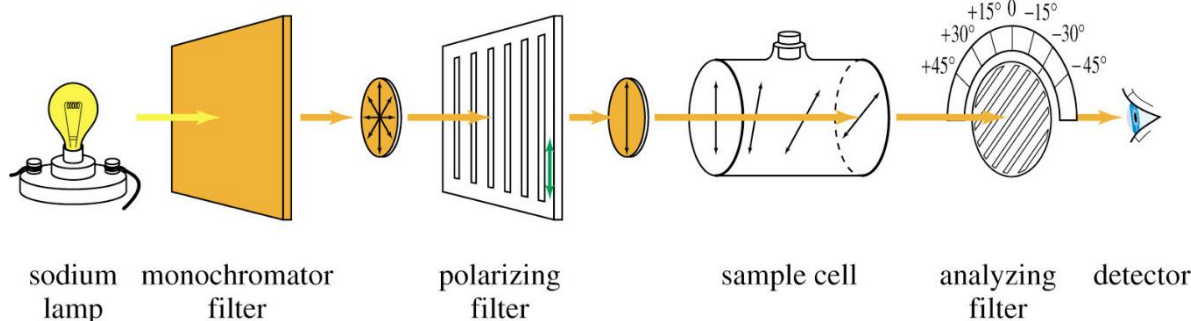
وبالتالي تركيز السكروز :

$$c = \frac{\alpha}{b \times [\alpha]_D^{20}}$$

حيث $[\alpha]_D^T$ تمثل : زاوية الدوران النوعي للضوء المستقطب الذي ينتج عن استعمال ضوء لمبة الصوديوم (D) عند درجة حرارة المحلول T وذلك باستخدام أنبوب طوله b

α: زاوية الدوران

b: طول الانبوب

عند استخدام أنبوب طوله 20سم وعند درجة حرارة 20 °C وقياس الدوران تكون $[\alpha]_D^T = 66.5$ ويكون هذا الدوران يمينياً (+)

جهاز مقياس الاستقطاب

يتكون مقياس الاستقطاب من الأجزاء :

1- المصدر الضوئي
2- المستقطب Polarizer
3- المحلل Analyzer
4- دائره مدرجه لقياس كمية الدوران
5- أنبوب العينه

يوضح الشكل مقياس استقطاب بسيط . يكون فيه المصدر الضوئي مصباح الصوديوم D او مصباح الزئبق وتحول الاشعه الصادرة بواسطة مفرق الى شعاع احادي الموجه ثم تمر بالمستقطب Polarizer ويصبح الضوء عندئذ مستقطبا استوائيا

ومن ثم يمر الشعاع في محلول العينه الذي يكون موضوعا في أنبوب زجاجي او سيراميك بطول معين , ويصل الى المحلل analyzer والكاشف يكون العين وتقرا زاوية الدوران بواسطة التدريج .

ان المستقطب والمحلل يتوفران بانواع مختلفة , احد هذه الأنواع يتكون من بلورة عادة من الكالسايت calcite (كربونات الكالسيوم) او الكوارتز . ويقطع قطريا عند زاوية بحيث ان مكونات الشعاع تتكسر كلياً ويمر المكون للشعاع خلال النصف الثاني من البلوره لذا يظهر ماراً بالاتجاة نفسه كالشعاع الأصلي .

معامل انكسار بلوره الكالسايت عند زاوية قائمة للاشعة =1.6574

من التطبيقات الأساسية للاستقطاب تقدير المركبات النشيطة ضوئيا مثل :

1- السكر
2- الاحماض الأمينية
3- المضادات الحيوية
4- البروتينات وغيرها

مقياس الانكسار Refractometer

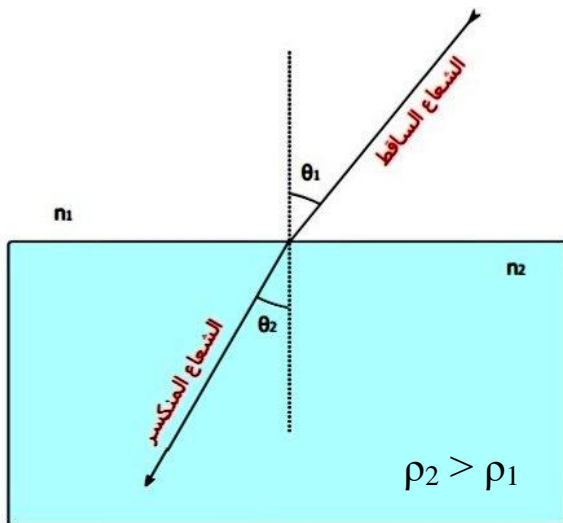
عندما تمر الاشعة من وسط لوسط اخر ذي كثافة فيزيائية مختلفة فسوف يلاحظ تغيراً مفاجئاً في اتجاة الاشعاع كنتيجة للاختلاف في سرعة الاشعة في الوسطين. ويبين هذا الشعاع في الشكل المجاور.

ان حساب معامل الانكسار (n)

يعطي بالعلاقة التالية :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}$$

حيث v_1, v_2 سرعة الشعاع في الوسطين الأول والثاني.

θ_1, θ_2 : زاوية سقوط الشعاع وزاوية انكساره على التوالي.

وعندما يكون الوسط الأول فراغ ($\rho_1 = 0$) فان $n_1 = 1$, فيمكن حساب معامل انكسار الوسط الثاني بحيث تكون

$$n_2 = \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\theta_2)}$$

ان قياس معامل الانكسار Refractive Index بالنسبة لأي وسط هو اكثر سهوله من قياسه بالنسبة للفراغ ويستخدم الهواء بصورة عامه كمقياس لهذا الغرض . معظم قيم R.I المجمعة للسوائل والمواد الصلبة في المصادر العلمية منسوبة للهواء عند درجة حرارة وضغط المختبر ويتم تحويل معامل الانكسار المقاس نسبة للهواء بواسطة اشعة لمبة الصوديوم الى معامل الانكسار نسبة للفراغ عن طريقة ضربه بمعامل 1.00027 ونادراً ما تكون هنالك حاجة لهذا التحويل.

$$n_{vacuum}=1.00027\ n$$

المتغيرات التي توثر على قياسات معامل الانكسار :

1- درجة الحرارة
2- الطول الموجي للاشعة
3- الضغط

يتوفر نوعان من الاجهزه لقياس معامل الانكسار من مصادر تجاريه. تعتمد مقايس الانكسار على قياس :

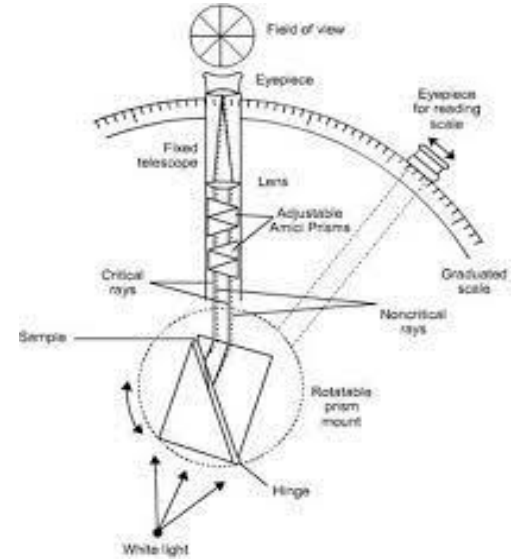
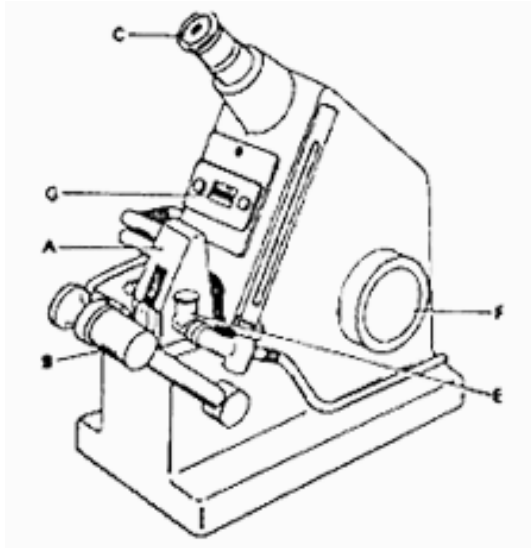
1- الزاويه الحرجه critical degree
2- إزاحة خيال او صوره image displacement

مقاييس الانكسار ذات الزاويه الحرجه :

وهي اكثر الاجهزه انتشاراً. تعرف الزاويه الحرجه انها زاوية انكسار الشعاع في الوسط عندما تكون زاوية الانكسار 90 درجه (grazing angle). وبالتالي تصبح الزاويه الحرجه (α_c) وعليه :

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{1}{sin\alpha_c}$$

وعند هذه الحالة يمكن مشاهدة الوسط وكأنه مقسوم لقسمين معتم ومضيء ويسمى الشعاع في هذه الحالة بالشعاع الحرج (critical ray) . يلاحظ انه اذا استخدم شعاع متعدد الألوان (لمبة التجستون) لا يمكن الحصول على الشعاع الحرج ولذلك تزود مقاييس الانكسار بمعوض compensator يسمح باستعمال هذه الاشعة. ولكنه يعوّض عن التشتت الناتج بحيث يعطي شعاعاًواحداً له صفات شعاع لمبة الصوديوم. ومن الأمثلة على هذه المقاييس مقياس آبي للانكسار Abbe Refractometer

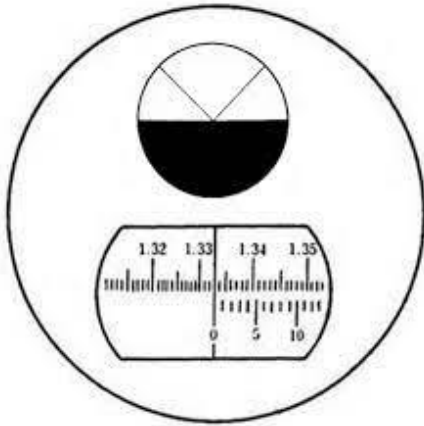
مقياس الانكسار Abbe Refractometer

يتكون مقياس آبي للانكسار من :

1-منشورين: المنشور السفلي خشن ومعلق بمفصل يسمح بفصلة للتنظيف، وظيفته تحويل الضوء الساقط عليه الى عدد غير محدود من الاشعة. المنشور العلوي ذو سطح ناعم يسبب انكسار الاشعة الماره خلاله الى التلسكوب الثابت .

2-منشوري تعويض (compensating prisms): وهذان المنشوران من نوع Amici ووظيفتهما تحويل الاشعة المبعثرة الى شعاع واحد له طول اشعاع لمبة الصوديوم

3-تلسكوب ثابت

4-عدسة عينية للتلسكوب مزودة بشعرتين متقاطعتين

5-مقياس مدرج يعطي قيمة معامل الانكسار مباشرة.

عند اجراء القياس تغير زاوية المنشور الى ان تنطبق حدود (المضيء- المعتم) على الشعرتين المتقاطعتين ومن ثم يتم تحديد قيمة معامل الانكسار من التدريج مباشرة .

يتم تثبيت درجة الحرارة بتدوير الماء خلال الغلاف المحيط بالمنشور.

يتميز مقياس ابي للانكسار بملائمته وسعة مداه (n: 1.3-1.7)

تطبيقات مقاييس الانكسار Applications

يعتبر معامل الانكسار من الثوابت الفيزيائية لأي مادة، لذلك يمكن الاستفادة منه بـ :

1- التعرف على هوية المركب ونقاوته
2- التحليل الكمي للمركبات الثنائية

** معامل الانكسار لعدة مواد نقية :

$$n\ (H_2O) = 1.333$$

$$n\ (Toluene) = 1.4469$$

$$n\ (Cyclo - hexane) = 1.4231$$

وهذه القراءات عند درجة حرارة 20 °C وباستخدام لمبة الصوديوم .

الوحدة السادسة

التحكم

قبل العام 1940، كانت تدار معظم المصانع الكيماوية يدويا ومع زيادة العمل وتكلفة الاجهزة ظهرت الحاجة لاجهزة تحكم تؤدي الوظائف التالية مقارنة بالتحكم اليدوي:

1- الدقة العالية في انجاز العمليات.
2- الاستجابة السريعة لاي تغير.
3- الاعمال الروتينية بدلا من العامل.
4- القيام بالاعمال الحساسة والخطرة (حرارة مرتفعة، اعماق، مناطق اشعاع، .....).
5- الكلفة العالية.

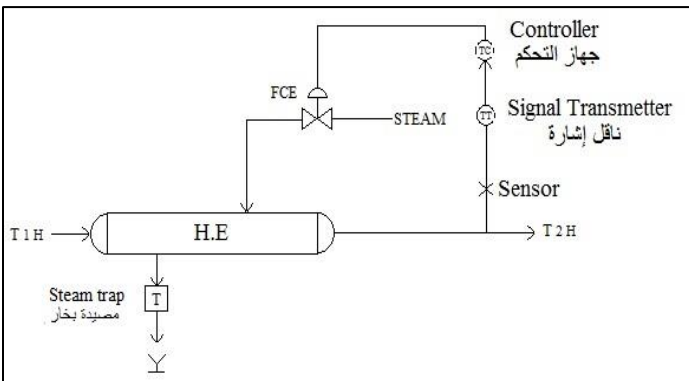
نظام التحكم: هو مجموعة من الاجهزة المترابطة كوحدة واحدة تقوم بتوجيه نفسها او مجموعة اخرى للقيام بتحقيق عملية معينة، عند تعرض العملية الصناعية لاي تشويش خارجي، يقوم جهاز التحكم بمعالجة هذا التغير والسيطرة عليه.

- **العمليات الاساسية لنظام التحكم:**

1- القياس M (measuerd): يقيس المتغير المراد التحكم به خلال العملية.
2- القرار D (decision): يقارن جهاز التحكم قيمة المتغير المقاس بالقيمة المرغوبة ويحسب الخطأ ويقرر الفعل.
3- الفعل A (action): يقع عليه قرار جهاز التحكم لالغاء تأثير التشويش الخارجي.

- **مفاهيم عناصر التحكم:**

- مكان العملية (Processer): المكان الذي يتم فيه عملية التحكم مثل مبادل حراري، مفاعل، برج تقطير و الأفران الحرارية.
- العملية (procoss): عملية التحكم بإحدى المتغيرات مثل درجة حرارة، ضغط ، المستوى ، التدفق والتركيز.
- المتغيرات وهي نوعان:

1- المتغيرات الداخله (Input variables): متغيرات ازعاج او تشويش Disturbance variable (المتغيرات التي لا نستطيع التحكم بها ويجب قبولها) وتكون درجة حرارة، ضغط، تدفق او تركيز. والمتغيرات المعالجة أو المتلاعب بها (Manipulated variable) (يقع عليها فعل جهاز التحكم).
2- المتغيرات الخارجه (Output variables) : و تسمى بعناصر التحكم (Controlled variable) (وهو هدف عملية التحكم ويجب المحافظة عليه ثابتا).

مثال: المبادل الحراري (Heat Exchanger)
العملية: تسخين الماء (او السائل) الداخل بواسطة البخار.
مكان العملية: المبادل الحراري.
- المتغيرات:
1- الداخلة (Inputs): الماء البارد ودرجة حرارته T_1 و البخار الداخل Steam.
2- الخارجة (Outputs) : الماء الساخن ودرجة حرارته T_2 و البخار المتكثف Steam condensate .

3- يقيس درجة حرارة السائل الخارج T_2 بواسطة (sensor) مثل الأزدواج الحراري.
4- يتصل sensor ناقل اشارة درجة الحرارة Temperature transmitter يقوم بتلقي اشارة ويحولها الى اشارة مناسبة وينقلها الى جهاز التحكم (Controller)
5- يستقبل جهاز التحكم الاشارة ويقارنها مع القيمة المرغوبة او المطلوبة set point حسب هذه المقارنة يقرر جهاز التحكم ما هو مطلوب للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة بناءا على هذا القرار(Disicion) يرسل جهاز التحكم الى عنصر التحكم النهائي (Final control element) اشارة لتغيير مقدار فتحة صمام البخار.
لهذا يوصف جهاز التحكم بأنه دماغ (Brain) وتوصف غرفة التحكم في المصنع بأنها (المركز العصبي للمصنع).

ومن هذا المثال يتضح أهداف أنظمة التحكم الالي:

1- تقلل أثر التشويش أو الأزعاج الخارجي التي تؤثر على العمليات الصناعية.
2- المحافظة على استقرار (Stability) العمليات.
3- إختيار أنسب الظروف (Optimization) لأداء العمليات.

- **يمكن تصنيف نظام التحكم تبعا للتشغيل:**

1- التحكم اليدوي (Manual control)
ويقوم فيها الانسان بمراقبة العملية ويتم اجراء اي تغيير مطلوب في قيمة عنصر التحكم عن طريق الانسان وذلك بتغيير قيم عنصر الازعاج (التشويش) كما يلزم.
2- التحكم الآلي (Automatic control)
يتم فيها التحكم بعنصر التحكم ذاتيا بواسطة النظام نفسه وهذا يتطلب وجود جهاز تحكم آلي (Automatic control) يقوم بالمقارنة واعطاء الاشارة المناسبة لصمام التحكم النهائي (FCE).

- **تمثيل نظام التحكم.**

يمكن تمثيل نظا م التحكم باشكال مختلفة منها:
1- المخطط التفصيلي (Schematic Diagram).
وتتم فيه تمثيل مكونات نظم التحكم بأشكالها الاصلية وبصورة مبسطة.
2- المخطط الصندوقي (Block Diagram).
وهو الشائع وفيه يتم تمثيل العناصر بصناديق (Blocks) حيث يمثل كل صندوق عنصر ما ويوضع داخل الصندوق اسم العنصر او العمل الذي يقوم به، وهذا المخطط أسهل للرسم والدراسة من المخطط التفصيلي ولكن التفصيلي يعطي فكرة كاملة عن التركيب الاساسي للوحدات وكيفية توصيلها والربط بينها.

والرموز المستعملة هي:

حرارة T = Temperature   الضغط P = Pressure

جهاز تحكم بالحرارة TC = Temp-Controller

جهاز تحكم بالضغط PC = Pressure-Controller

جهاز ناقل اشارة الحرارة TT =Temp-transmitter

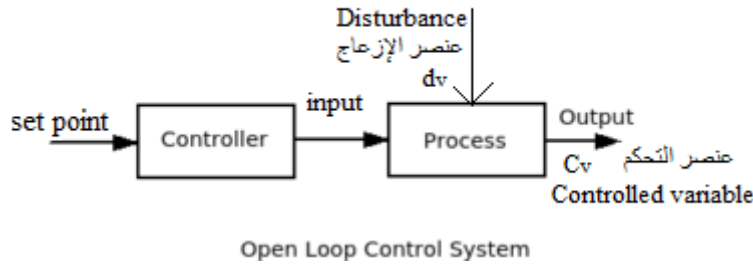
مستوى L = Level   تركيز C = Concentration   تدفق F = Flow

- **هنالك نوعان من أنظمة السيطرة والتحكم حسب الدوائر loops:**

1- نظام الدائرة المفتوحه (Open- loop Control system).
2- نظام الدائرة المغلقة(Closed- loop Control system).

1- **نظام الدائرة المفتوحة:**

وهي دائرة تحكم بدون تغذية راجعة. التي يفصل فيها جهاز التحكم، وهذا يعني ان جهاز التحكم لا يقوم فيها بوظيفة (القرار). او ان الاشارة التي يصدرها جهاز التحكم لاتؤثر على قيمة عنصر التحكم بمعنى ان وظيفة (الفعل) معطلة.

Open Loop Control System

يتكون هذا النظام من جهاز تحكم يحدد قيمة العنصر الداخل (input) والعنصر الخارج (output) للعملية حيث يقوم باعطاء الاشارة المناسبة للعملية، كما في الشكل أعلاه.

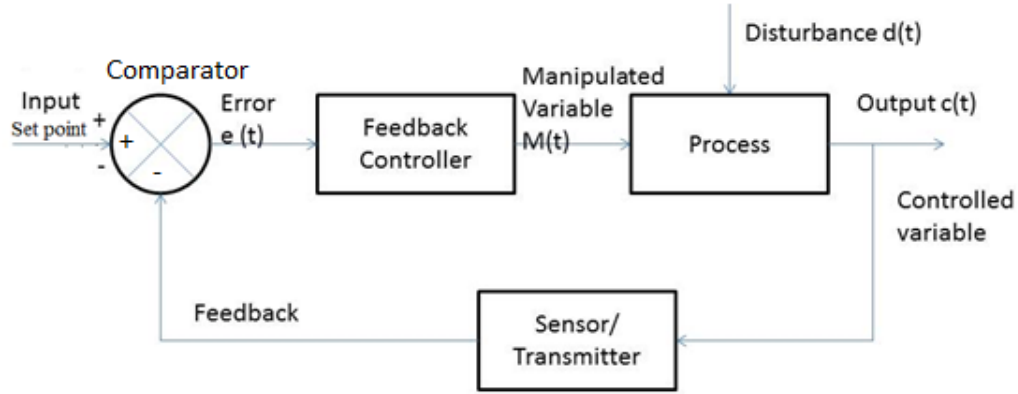
يقوم العامل(operator) المشغل بوضع القيمة المرغوبة ويترك العملية تسير كما هي. ولا يأخذ هذا النظام قيمة عنصر التحكم بالاعتبار عند اعطاء اشارة التحكم للعملية.

- **ميزات نظام الدائرة المفتوحة:**
  1- جهاز التحكم غالي الثمن و ذو كفاءة عالية يحتاج الى طاقة خارجية للعمل.
  2- يستعمل في العمليات البسيطة التي لا يحدث فيها تغيير ملحوظ على (Controlled variable).
  3- يستعمل في العمليات التي تستغرق وقتا طويلا.
  4- يستعمل في العمليات المعقدة التي لاينفع فيها التحكم بدائرة مغلقة.

مثال:

1- في خزان يتم التحكم بمعدل تدفق السائل الداخل على قيمة ما، ولا تتم مقارنة مستوى السائل (h) مع القيمة المرغوبة. في هذه الحالة لا بد من ان يكون جهاز التحكم عالي الكفاءة للتقليل بين القيمة الفعلية والقيمة المرغوبة لإرتفاع السائل(h). وإذا حدث تشويش، لا يشعر به جهاز التحكم وتكون اشارته للصمام كما هي قبل التشويش.
2- تعبئة الكريمات في عبوات، الشامبو في اواني ....
يتم تحديد وزن الكريم، يصب من جزء من ماكنة التصنيع، اذا حدث خطأ ما تبقى الآلة تصب الكريم حتى يوقفها العامل.
3- الغسالة الأتوماتيكية

2- **نظام الدائرة المغلقة:**

وفيه يقوم نظام التحكم بجميع وظائفه الاساسية (القياس، القرار و الفعل).

Closed loop controll system

- **يختلف هذا النظام عن الدائرة المفتوحه بـــ:**

1- عنصر التغذية الراجعة (feedback element): ويقوم باعادة اشارة عنصر القياس (Controlled variable) المقاسة ويرسلها للمقارنة مع القيمة المرغوبة.

2- عنصر المقارنة (Comparator): ويقوم بمقارنة الاشارتين المقاسة والمرغوبة لحساب الخطأ (error , E) ويرسلها الى جهاز التحكم لاعطاء الاشارة المناسبة لتؤثر على العملية وتصحيح الخطأ ان وجد.

- **مميزات النظام:**

- لا بد من وجود قيمة خطأ (E) ليقوم جهاز التحكم بعمله.
- يقوم جهاز التحكم بتصحيح التشويش على العملية بعد حدوثه.
- لا نحتاج الى جهاز تحكم عالي الكفاءة.

3- **الانظمة المستمرة (continuous control system)**

وهي انظمة التحكم التي تصمم لمعالجة التغير في العمليات الصناعية المستمرة اثناء انتقالها من وحدة الى اخرى(تسخين، تبريد، تجفيف، غسيل، خلط....) ولهذه الانظمة نوعان حسب دائرة التحكم:

- **نظام الدائرة المغلقة المستمر (continuous closed- loop control system)**

ويكون نوع دائرة التحكم فيه مغلقة (تغذية راجعة او تغذية امامية). يتم قياس العنصر الذي تتحكم به ونرسل اشارته للمقارنة مع القيمة المرغوبة لحساب الخطأ (E) ثم الى جهاز التحكم لتحديد نوع الفعل المناسب ليعود تأثير هذا التأثير على العملية مرة اخرى.

أذن هناك اشارة مستمرة بين جهاز التحكم وعنصر التحكم النهائي(FCE).

- **نظام الدائرة المفتوحة المستمر(continuous open- loop control system)**

ويكون نوع دائرة التحكم فيه مفتوحة يتم وضع قيمة محددة للعنصر الذي تتحكم به وتستمر العملية فاذا حدث نشويش عليها لا تقوم بتغيره بل يستمر الخطأ (E) ما دام تأثير التشويش مستمرا.

4- الانظمة المتتالية (Successive or (Following control systems

وهو نوع من انظمة الدائرة المفتوحة، ويتكون من عدد من هذه الانظمة تتبع بعضها بعضا وكل نظام تحكم مستقل بذاته.

مثال: تعبئة المشروبات الغازية:

1- يتم تنظيف الاواني الزجاجية.
2- يتم تعقيم الاواني بالماء الساخن(تحكم بدرجة الحرارة).
3- تملأ بحجم معين من المشروب(تحكم بكمية السائل).
4- تغطى الاواني بغطاء مكبس بواسطة مكابس تعمل بالهيدروليك(تحكم بضغط).
5- تحمل بواسطة الخطوط الناقلة لترتيبها في صناديق ثم شحنها.

تتم جميع هذه العمليات والانتاج بسير في خطوطه، فاذا حدث خطأ ما تبقى الاجهزة تقوم باداء عملها حتى يوقفها العامل ويصحح الخطأ. ولا بد من انتهاء اي مرحلة اولا للانتقال الى المرحلة التي تليها.

- **انظمة التحكم البسيطة(Simple Control system)**

أبسط انظمة التحكم هو النظام الذي يحتوي على جهاز تحكم ذو اشارتين (on/off controller) ويعتمد هذا النظام على ضبط القيمة المرغوبة لمتغير العملية المراد التحكم به فاذا حدث تشويش او ازعاج خارجي يعطي جهاز التحكم اشارتين فقط توقف العملية او تستمر بها. فاذا زادت القيمة المقاسة (التشغيلية او الفعلية) عن القيمة المرغوبة يقوم جهاز التحكم باعطاء اشارة (اغلق/ off) لعنصر التحكم النهائي FCE. اما اذا قلت فيعطي اشارة (افتح/ON) لـFCE (صمام او مفتاح كهربائي) حتى ترتفع القيمة الى القيمة المرغوبة ثم يتوقف جهاز التحكم .

أمثلة :

1- المكواة الكهربائية: عند اختيار نوع القماش (درجة حرارته فعليا) تختار القيمة المرغوبة (فيتولد تيار كهربائي في الاجزاء الداخلية يسخنها) ترتفع درجة حرارة المكواة حتى تصل القيمة المرغوبة ثم ينفصل التيار (off)، عند الكوي يتم استهلاك جزء من حرارة المكواة على القماش فتنخفض درجة الحرارة عن المرغوبة فيعود التيار (on) للمكواة لتسخينها وهكذا.
2- الاجهزة الكهربائية الاخرى: الثلاجة، التدفئة المركزية، السخان الكهربائي ....

الوحدة السابعة

عناصر دائرة التحكم الآلي ونظم التحكم

ذكرنا سابقا ان نظام التحكم هو مجموعة من الاجهزة المترابطة كوحدة واحدة تقوم بترتيب نفسها او مجموعة اخرى للقيام بتحقيق عملية معينة. تتكون دائرة التحكم الآلي من عدة عناصر رئيسية، سنذكر عدة عناصر اخرى لا تخلو منها اي دائرة تحكم ولكنها ليست بذات الاهمية.

1- **العملية (process):** وهي المتغير الذي نريد التحكم به ويتم عملية التحكم في مكان العملية فاذا اردنا التحكم بدرجة الحرارة في مبادل حراري: العملية هي التحكم بدرجة الحرارة.

2- **عنصر القياس(measuring element or sensor) :** ويقوم بقياس عنصر التحكم المطلوب التحكم به خلال العملية (controlled variable).

3- **ناقل الاشارة (Transmitter)** : ويقوم بنقل اشارة القياس وتحويلها الى ما يكافئها من اشارة ضغط هواء او اشارة كهربائية.

4- **عنصر المقارنة (compartor) :** ويقارن بين قيمة المتغير المقاس مع القيمة المرغوبة وتخرج الاشارة منه على شكل اشارة خطأ (error , E).

5- **مضخم الاشارة (Amplifier)** ويقوم بتكبير الاشارة الضعيفة القادمة من عنصر المقارنة ويرسلها الى جهاز التحكم.

6- **جهاز التحكم (controller)** وهو الجزء الذكي في نظام التحكم ويقوم بتحديد الاشارة المناسبة للحفاظ على قيمة عنصر التحكم ثابتة على القيمة المرغوبة ويرسل اشارته الى عنصر التحكم النهائي (Final control element)، ويسمى ايضا المسيطر.

7- **محول الاشارة (Transducer)** ويقوم بتحويل الاشارات من نوع فيزيائي الى اشارات تنتقل وتوفر الاتصال بين وحدات نظام التحكم وهي عدة انواع:
   1- اشارة هوائية(pneumatic singnal) او ضغط الهواء وتتراوح بين Psi (15 -3).
   2- اشارة كهربائية (Electrical signal) وتتراوح قيمتها بين mA(20 – 4).
   3- اشارة رقمية (Digital signal) وقيمتها (0 أو 1) وتستعمل في الكمبيوترات.

وعند الحاجة لتحويل الاشارة من نوع لآخر، لا بد من استخدام (محول الاشارة) وهنالك عدة انواع منها:

1- محول(I/P): ويحول الاشارة الكهربائية (I) الى اشارة هوائية(P).
2- محول(P/I): ويحول الاشارة الهوائية (p) الى اشارة كهربائية(I).
3- محول(E/P): ويحول اشارة فرق الجهد Voltage (E) الى اشارة هوائية(P).
4- محول(P/E): ويحول الاشارة الهوائية(P) الى اشارة فرق جهد(E) ....وغيرها.
   - مثال: الازدواج الحراري (Thermocouple)
   يقيس درجة الحرارة و يحول درجة الحرارة الى mv فرق جهد.

8- **خطوط نقل الاشارة (Transmission lines):** وتستعمل لحمل اشارة القياس الى جهاز التحكم وعنصر التسجيل.

في بعض الحالات وعندما تكون الاشارة ضعيفة يتم تركيب المضخات عليها (Amplifiers) لرفع قيمة الاشارة القادمة.

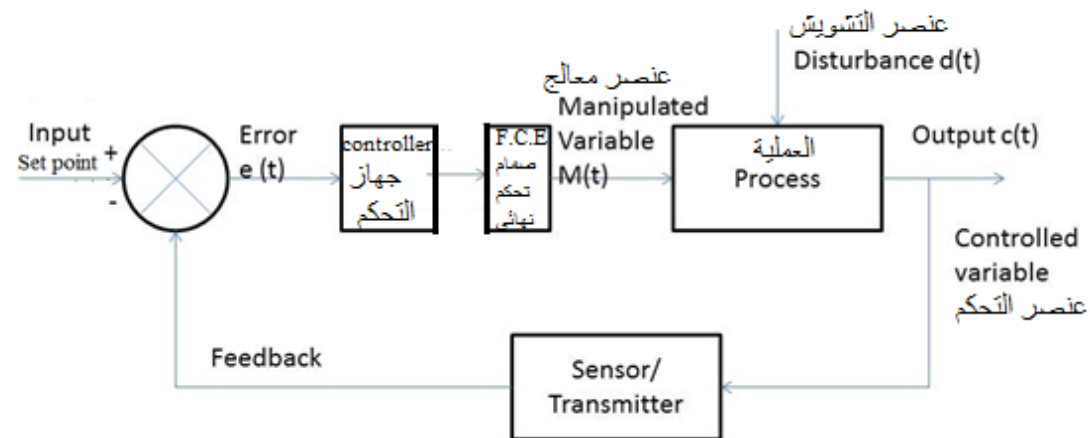
9- **عنصر التحكم النهائي (Final control system)** وهو الجزء الذي يقع عليه (الفعل) من جهاز التحكم, يؤثر مباشرة على العنصر الذي تتلاعب به (.manipulated V) او العنصر المعالج.

ويكون عادة على عدة انواع:

1- صمام هوائي(Pneumatic valve).
2- مفتاح كهربائي(Electrical valve).
3- مضخة متغيرة السرعة(variable speed pump).
4- ضاغطة متغيرة السرعة(variable speed compressor).

10- **عنصر التسجيل (Recording element):** عبارة عن الجزء الذي يقوم بتسجيل سلوك (مساره) على شكل مخطط بياني.

عادة يتم تركيبه (FCE, Transmitters, sensor) على مكان العملية نفسها (الموقع) بينما جهاز التحكم (contraller) في غرفة التحكم control room ويتم التحكم عن بعد بواسطة خطوط نقل الاشارة.

اما كيفية ربط العناصر مع بعضها في دائرة التحكم الآلي: Block digram

- ويطلق احيانا على: (جهاز التحكم+عنصر المقارنة) بـ"عنصر السيطرة". أو ميكانيكية التحكم (contraller mechauism) او آلية التحكم.
- كما ان عنصر القياس (sensor) لايظهر في المخطط الصندوقي وكذلك قليلا ما يظهر مضخم الاشارة (Amplifier) ومحول الاشارة (Transducer).
  اما عنصر التنفيذ الاخير FCE فيظهر في المخطط الصندوقي على شكل صمام في اكثر الاحيان.
- تعمل مضخم الصمامات واجهزة القياس بواسطة الاشارة الهوائية التي تتحكم في تشغيل هذه المعدات والسيطرة عليها، هذه المتغيرات التي يمكن التحكم بها عن طريق الاشارة الهوائية (اجهزة قياس الضغط، الحرارة، المستوى، الجريان).
- يوجد مضخم الاشارة في العادة بين عنصر المقارنة وجهاز التحكم.

- يوجد محول الاشارة في العادة بين جهاز التحكم وعنصر التنفيذ الاخير FCE.

نظام التحكم في الدائرة المغلقة closed – loop control system

هنالك عدة انواع من نظم التحكم في الدائرة المغلقة:

1- نظام التحكم بالتغذية الراجعة (التحكم المتأخر).Feedback control system

يتم فيه باستمرار قياس اشارة مخرج العملية (Controlled variable)ومقارنتها مع القيمة المرغوبه (set point)حيث تستخدم التغذية الراجعة الخلفية لاعادة الاشارة الى جهاز التحكم للمقارنه، وهذا النظام اكثر شيوعا.

- حسناته:
  1- ان المقارنة المستمرة لعنصر التحكم "C"تمكن الغاء تأثير الاضطرابات المؤثرة على العملية.
  2- جهاز التحكم بسيط وبالتالي يجعل نظام التحكم اقل ثمنا.
- سيئاته:
  1- تحدث عملية التحكم بعد ان يظهر تأثير(disturbance)على عنصر التحكم "C"، بمعنى انه لا يتم الغاء التأثير الا بعد ان يحصل الخطأ (E).
  2- هنالك خاصية متلازمه له وهي تذبذب (oscillation)عنصر التحكم مما يقلل من استقرارية النظام.
  3- لا ينفع في العمليات التي تستغرق وقتا طويلا في قياس مخرجات العملية، مثل التركيب الكيماوي، التركيز او جودة المنتج.

2- نظام التحكم بالتغذية الامامية (التحكم المسبق).Feedforward control system

يتم فيه قياس وتحسس الاضطراب (d) لحظة حصوله، حيث يقوم جهاز التحكم بالغاءه قبل ان يؤثر على العملية وينتج الخطأ، بمعنى ان يتفقد مصدر الاضطراب قبل حدوثه وهذا يتطلب معرفته كاملة بالعملية والاضطرابات التي يمكن ان تؤثر عليها وتكون اشارة جهاز التحكم الى FCE المؤثرة على Manipulated V.

- حسناته:
  1- يتم قياس الاضطراب المحتمل والتعويض عنه قبل تأثيره على عنصر التحكم.
  2- يصلح للعمليات التي تستغرق وقتا طويلا.
- سيئاته:
  1- جهاز التحكم غالي الثمن مقارنته مع جهاز تحكم التغذية الراجعة(الخلفية).

**** مقارنة بين نظامي التحكم بالتغذية الخلفية والامامية.**

Feedback control	Feedforword control
1- نظام التشويش بعد تأثيره على العملية.	- يقاوم التشويش قبل تأثيره على العملية وعنصر التحكم.
2- لا يتطلب تعريف وقياس مصدر التشويش.	- يتطلب معرفة كل مصادر التشويش المحتملة وقياسها
3- يسبب عدم استقرار لاستجابة الدائرة المغلقة.	- لا يسبب حالة عدم استقرار.
4- غير مناسب للعمليات البطيئة.	- مناسب للعمليات البطيئة.

-3 نظام التحكم المشترك.Cascade control system

ويعتبر من انظمة التحكم المتقدمة (Advanced) والتي تحتوي اكثر من دائرة تحكم واحدة وهذه الدوائر غير منفصلة بل تتشارك فيما بينهما بعنصر تلاعب واحد .manipulated V مما يعني التحكم بمخرج واحد (one output) للنظام. هذه الدوائر قد تكون من نوع التغذية الخلفية او من نوع التغذية الامامية او من النوعين معا.

يتكون نظام التحكم المشترك من جهازي تحكم (2 controllers):

1- جهاز تحكم اساسي (Primary) ويدعى ايضا السيد (Master).
2- جهاز تحكم ثانوي (Secondary) ويدعى ايضا العبد (Slave).

ومن عنصري ازعاج او تشويش (di)، عنصر تحكم رئيسي واحد (C) وعنصر تلاعب واحد (M) ويتم عادة قياس (Measuremat

**** مميزات نظام التحكم المشترك:**

1- يقلل تأثير التشويش (disturbance) مهما كان صغيرا.
2- اشارة التحكم الصادرة من جهاز التحكم الاساسي تكون القيمة المرغوبة لجهاز التحكم الثانوي، واشارة جهاز التحكم الثانوي تذهب لصمام التحكم.
3- دائرتي التحكم فيهما قياسين C_1 , C_2 ولكنهما تتشاركان في العنصر المعالج.
5- يلاحظ ان دائرة التحكم بالتدفق تكون في معظم الاحيان جزء من نظام تحكم مشترك.

**** انواع المسيطرات المستخدمة في انظمة التحكم (انواع اجهزة التحكم) Contorlling Modes**

هنالك العديد من اجهزة التحكم او المسيطرات واختيار النوع المطلوب والمناسب للتحكم في عملية ما يعتمد على:

1- دقة التحكم المطلوبة.
2- زمن استجابة العملية للتحكم.
3- قيمة التضخيم لاجزاء النظام.
4- السلامة.
5- سهولة التركيب.
6- التكلفة المادية.

قبل استعراض الاجهزة، ملخص رموز العناصر المستعملة في اي دائرة تحكم:

	المتغير Variable	الرمز Symbot	ناقل الاشارة Transmitter	جهاز التحكم controller	الصمام Valve (FCE)
الحرارة	Temperature	T	TT	TC	TCV
الضغط	Pressure	P	PT	PC	PCV
المستوى	Level	L	LT	LC	LCV
التدفق	Flow	F	FT	FC	FCV
التركيز	Concentration	C	CT	CC	CCV

- **انواع اجهزة التحكم والتي غالبا ما تستعمل في التحكم المتأخر Feedback:**

1- جهاز التحكم التناسبي (p-only contoller (proportional conlroller
يعتبر هذا الجهاز من ابسط اجهزة التحكم بعد جهاز (ON/OFF) ويقوم هذا الجهاز بتغيير الاشارة الخارجة منه (Output signal) الى عنصر التنفيذ النهائي FCE بحيث يتناسب طرديا مع اشارة الخطأ (e (error او E الداخلة اليه من عنصر المقارنة Comparator،
Kc: وهي قيمة التضخيم(gain) لجهاز التحكم P وتعبر عن حساسية الجهاز:

$$gian = \frac{\Delta output}{\Delta input}$$

هنالك طريقة اخرى للتعبير عن قيمة التضخيم لجهاز التحكم P وهي بدلالة (الحزمة التناسبية) PB،Proportional Band، وتعرف بانها:

$$PB = \frac{100}{Kc} \quad or \quad PB\% = \frac{100\%}{Kc}$$

مميزات النظام التناسبي (P – controller):

1- يعتبر من ابسط اجهزة التحكم.
2- زمن استجابته سريعة نسبيا.
3- له ميزة امكانية تغيير حساسيته بتغير قيمة Kc او PB.
4- يعتبر جزء اساسي ومشترك للانواع الاخرى من اجهزة التحكم PI، PD، PID.
5- يستخدم للتحكم في المستوى (Level control)، والتحكم في الضغط (Pressure control).

عيوب النظام التناسبي:

1- لا يلغي قيمة الخطأ (e) تماما ولكن يقلل من تأثير التشويش.
2- يظهر انحراف للقيمة المرغوبة او offset.

2- جهاز التحكم التناسبي التكاملي (PI controller (Proportional integral controller
يتم استخدام هذا النوع من اجهزة التحكم عندما يكون هدف عملية التحكم المحافظة على قيمة controller variable ثابتة وبدون اي خطأ او انحراف من القيمة المرغوبة off set وهذا هو دور الفعل التكاملي (integral action) وعادة لا يوجد جهاز تحكم تكاملي مستقل بذاته ولذلك لا يجب اضافته الى جهاز التحكم التناسبي ليعمل.

- τ_i (الزمن التكاملي): وهو الزمن الذي يحتاجه جهاز التحكم لاعادة الفعل التناسبي.
ويتم نقل متغير العملية الى القيمة المرغوبة الاصليه مما يؤدي لحذف offset والخطأ وعادة تتراوح قيم τ_i: $0.1 < \tau I < 50\ min$

معادلة جهاز التحكم التناسبي التكامل:

$$M(t) = Bais + Kc \cdot e(t) + \frac{Kc}{\tau I} \int e(t).dt$$

Or

$$M(t) = Bais + Kc\left[e(t) + \frac{1}{\tau I} \int e(t).dt\right]$$

**مميزات جهاز التحكم التناسبي التكاملي:

1- له عاملين يؤثران في قيمة M(t) هما Kc او PB وτ_i .
2- يلغي تأثير offset الناتج عن الفعل التناسبي وذلك عن طريق تكامل الخطأ.
3- تزداد حساسية الجهاز واستجابته اذا زادت قيمة Kc (قلت PB) وقلت τ_i.
4- يستعمل في التحكم بتدفق السوائل (Flow control).

**عيوب جهاز التحكم (PI-cntroller):

1- زمن الاستجابة طويل جدا لانه يقوم بألغاء off set تماما لذلك يعتبر نظام بطيء.
2- اذا كان الزمن التكاملي τ_i عالي جدا (∞) يصبح الجهاز كأنه P-only.

3- جهاز التحكم التناسبي التفاضلي (Proportional Derivative Controller).

(PD- Controller) يتم استخدام هذا النوع عندما نهدف الى تسريع زمن استجابة العملية لمصدر الازعاج نستخدم الفعل التفاضلي (Derivative action) للتنبؤ عن وجود خطأ ليقوم الفني بوضع الحلول المناسبة لهذه الاخطاء ومعالجتها قبل حدوثها وذلك بتفاضل الخطأ. لا يوجد عادة جهازا للتحكم من النوع التفاضلي

ونلاحظ ان الاشارة الناتجة عن جهاز التحكم ستحرك صمام التحكم FCE بناءا على مشتقة الخطأ.

τ_D: وهو زمن الفعل التفاضلي. ويستعمل لتوقع مكان الخطأ وكيفية تعديله ولا يقوم بالغاء offset الناتج عن الفعل التناسبي بل يقلل زمن الاستجابة.

معادلة جهاز التحكم التناسبي التفاضلي (PD-controller):

$$M(t) = Bais + Kc \cdot e(t) + Kc \cdot \tau_D \cdot \frac{d\,e(t)}{dt}$$

من المعادلة، نلاحظ انه بزيادة الزمن التفاضلي τ_D تزداد قيمة M(t) بالتالي تتغير قيمة controller variable بسرعة.

**مميزات جهاز التحكم PD:

1- سريع الاستجابة ويتوقع المكان الصحيح للخطأ ويتم تعديلة.
2- يؤثر في الاستجابة عاملين Kc, τ_D.
3- اذا كانت Kc ثابتة، فان PD يعطي قيمة off set اقل من جهاز P-only.

**عيوب جهاز التحكم PD:

1- لا يلغي الخطأ تماما مثل جهاز PI.
2- لا يمكن استخدامه في التحكم بالتدفق ونادرا ما يستعمل للتحكم بالمستوى.
3- يضخم اي اشارة تشويش مصاحبة لاشارة القياس أو(noise) وهذا التضخيم يؤثر على الصمام.

4- جهاز التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي Proportional Intgral Derivative Controller

(PID- Controller) يجمع هذا الجهاز كل الافعال التناسبية، التكاملية، التفاضلية ويعطي استجابة واحدة يظهر فيها التأثير المشترك للجميع. هذا النوع اكثر تعقيدا وكلفة وكفاءة من الانواع السابقة.

**** مميزات جهاز التحكم PID:**

1- يمكن التأثير في استجابة العملية من خلال *تغيير* 3 عوامل(τ_D, τ_i, Kc).
2- يلغي offset بسبب الفعل التكاملي.
3- يقلل زمن الاستجابة ويعطي استقرارا اكثر بسبب الفعل التفاضلي.
4- لا يتم تضخيم *noise* ولا يسبب تذبذب الصمام.
5- يستعمل في عمليات التحكم بالحرارة *Temperture control* والتركيز

****عيوب جهاز التحكم *PID*:**

1- اذا استعمل في الدوائر التي تستغرق زمنا قصيرا، سيظهر الفعل التفاضلي ويحدث *noise* يؤثر على الصمام، كما في دوائر الضغط.

5- جهاز التحكم ON / Off:

يعتمد جهاز التحكم على ضبط العملية على قيمة المتغير مساوية لــ set point فاذا زادت قيمة عنصر القياس controller V. يتوقف عمل التحكم، واذا قلت يبدأ عمل التحكم حتى تصل القيمة المرغوبة. معظم الاجهزة الكهربائية المنزلية تحتوي هذا الجهاز.

يمكن اعتبار جهاز التحكم ON / Off بانه P-only قيمة Kc عالية جدا انه عندما تصل اشارة التحكم فان الصمام يفتح تماما، او يغلق تماما بمعنى ان الحساسية عالية جدا.

**** عملية اختيار جهاز التحكم المناسب Selecting the controller**

1- اذا كان وجود offset مقبولا ولا يشكل خطرا على العملية، نستخدم (P-only).
   مثال: التحكم بالمستوى والتحكم بضغط الغازات.
2- اذا كان وجود offset غير مقبول ويمكن ظهور مشكلة noise (تضخيم اشارات التشويش) نستخدم PI.
   مثال: التحكم بالتدفق.
3- اذا كان وجود offset غير مقبول ولا توجد مشكلة noise وهناك تأثير مفرط في الزمن نستخدم PI واذا ما تبين هنالك تأخير في الزمن نستخدم PID .

مادة

قياس وتحكم

لطلبة هندسة الصناعات الكيميائية

الوحدة التاسعة: صمامات التحكم Control valves

صمامات التحكم هي عنصر التحكم النهائي الأكثر شيوعاً في عمليات التحكم وتقوم بتنفيذ القرار الذي يصدره جهاز التحكم، وهي عبارة عن أدوات تستعمل في التحكم بمجرى السوائل والغازات خلال الأنابيب وتختلف عادة باختلاف أحجام الأنابيب التي تركب عليها. هناك نوعان من صمامات التحكم:

1. صمامات تحكم هوائية (Air-operated valves)
2. صمامات تحكم كهربائية (إلكترونية) (Electric valves)

أولاً: الصمامات الهوائية:

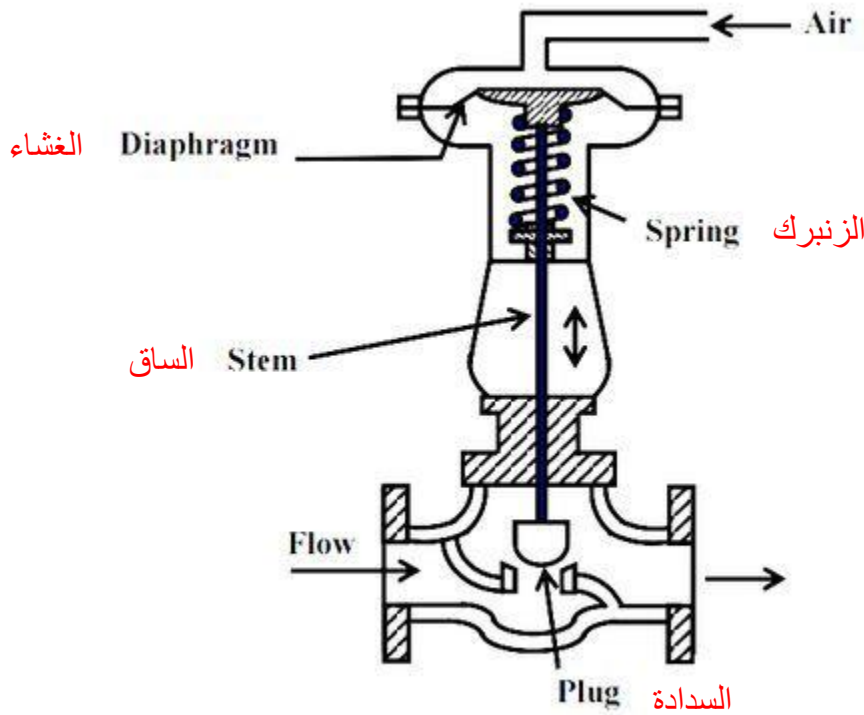



Fig. 1 Control valve

طريقة العمل:

عندما تدخل اشارة الهواء وتضغط على الغشاء أعلى الصمام يقوم بضغط الزنبرك تحته مع الساق المتصل به بحيث يدفع السدادة لإغلاق قاعدة الصمام أو فتحها حسب نوع الصمام حيث يمر السائل من خلال المجرى. ويعمل الصمام الهوائي بواسطة إشارات الهواء المضغوط من (3 – 15 Psig)

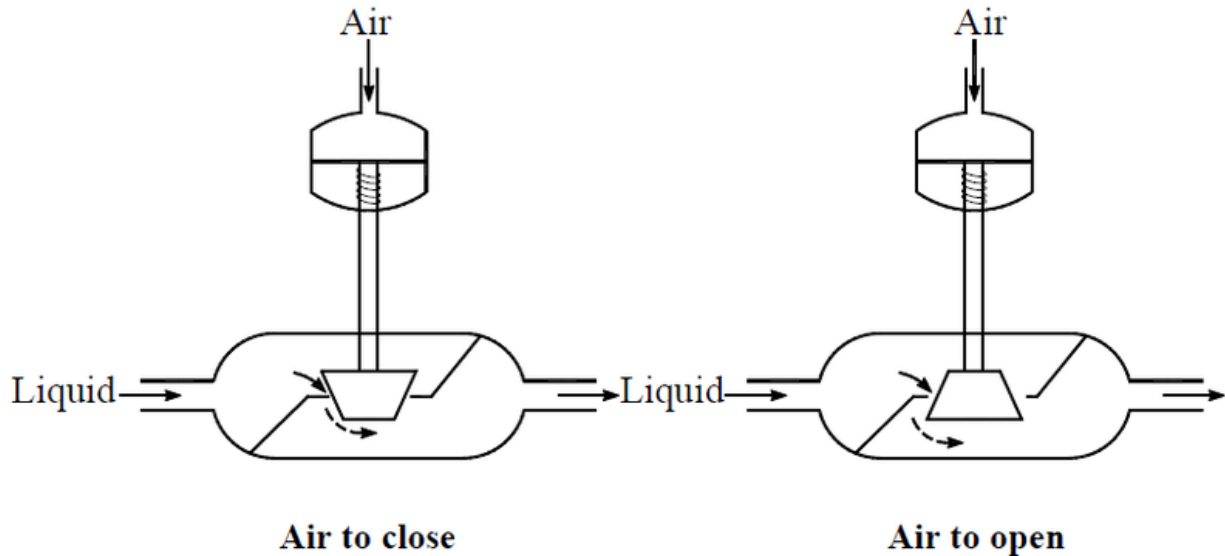
** تنقسم الصمامات من حيث الاشارة الهوائية القادمة من جهاز التحكم إلى نوعين:

1- صمام عادي مغلق (normal close) أو يفتح بالهواء (air to open)

ويكون هذا الصمام في وضعه الطبيعي بدون اشارة هواء مغلقاً وضغط الهواء عنده (3 Psig)، فإذا ازدادت الاشارة الهوائية يضغط الهواء على الغشاء ويدفع الساق الى الأسفل ساحباً معه السدادة فتنزل ويفتح المجرى لمرور السائل وبهذا يصبح ضغط الهواء 15 Psig أو نسبة الفتح تكون 100% **وتستخدم عادةً في عمليات التسخين.**

2- صمام عادي مفتوح (normal open) أو يغلق بالهواء (air to close)

ويكون في الوضع العادي مفتوحاً أو ضغط الهواء عنده (15 Psig) فإذا زادت الاشارة الهوائية يغلق المجرى أمام المائع. **ويستخدم في عمليات التبريد والتحكم بالضغط والمستوى.**

الشكل التالي يوضح الصمامين بحيث يختلفا من حيث مدخل الاشارة فوق الغشاء أو تحته ويكون شكل السدادة متشابه في الصمامين.

** أنواع الصمامات من حيث حجم التدفق ونوع السدادة:

1- صمام سريع الفتح (Fast opening valve)

يكون شكل السدادة كالقرص، وتزداد مساحة الفتحة بشكل كبير عندما يرتفع ساق الصمام ويعطي أقصى قيمة للتدفق.

مميزاته: 1. سريع الحساسية والاستجابة

2. قيمة التضخيم للصمام (Kc: valve gain) عالية.

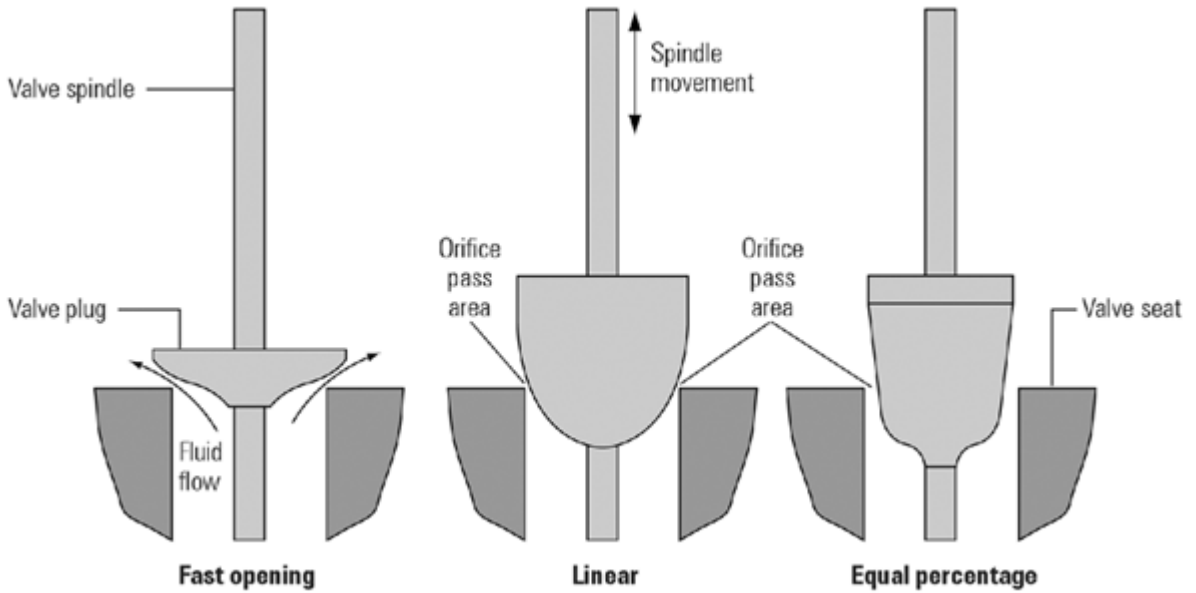
3. يحدث خلاله انخفاض عالي بالضغط (high ΔP)

4. يستخدم في أنظمة التحكم On/ Off

2- الصمام متساوي النسب (Equal percentage valve)

يزداد التدفق فيه بنسبة خطية لزيادة فتحة الصمام (أي أنه اذا زاد التدفق بنسبة 10% تزداد فتحة الصمام 10%) ويمتاز هذا النوع من الصمامات بأن فرق الضغط فيه قليل (low ΔP)

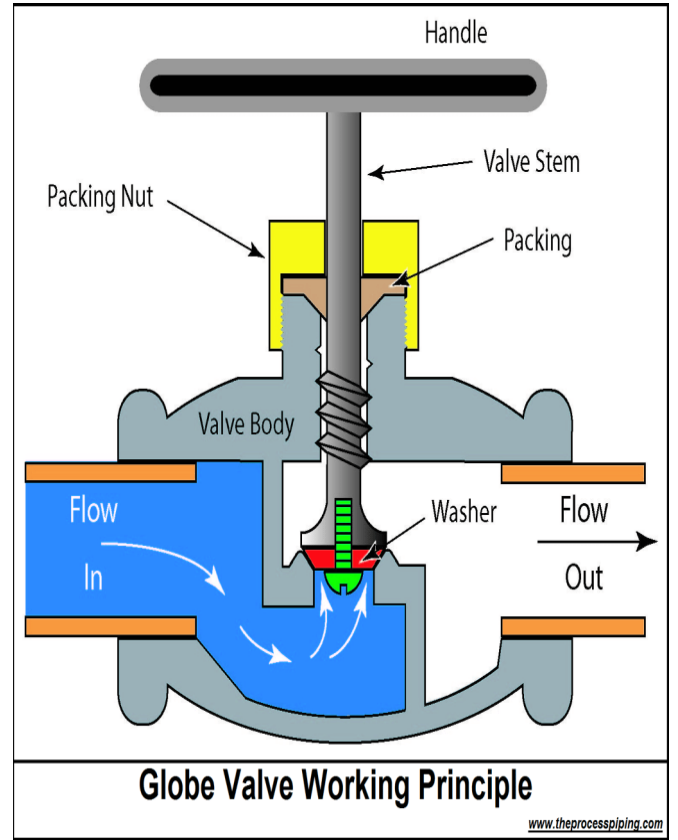
3- الصمام الخطي (Linear valve)

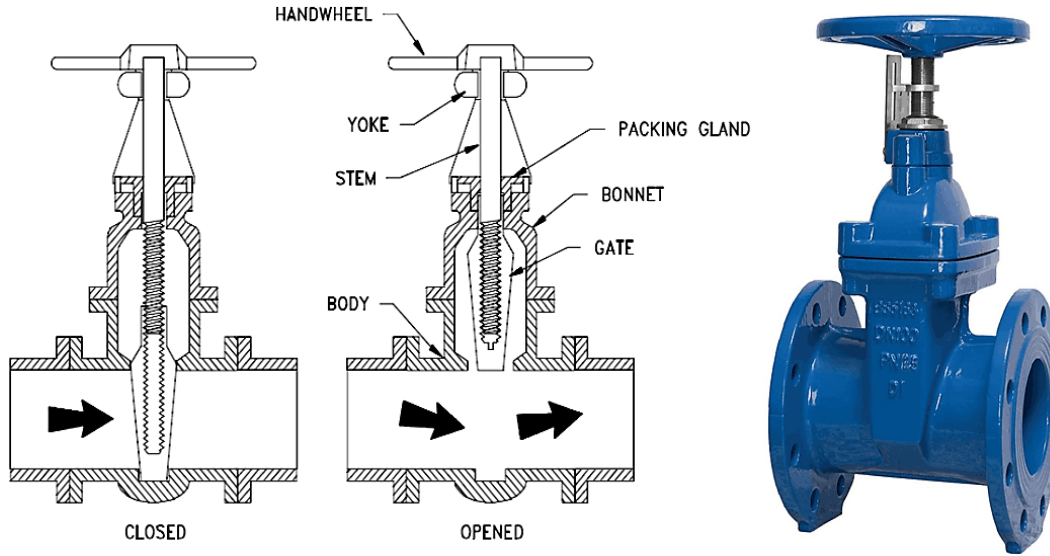
يستخدم عندما تكون ΔP في الصمام ثابتة تقريباً، وتكون العلاقة بين التدفق وفتحة الصمام (مكان السدادة) خطية.

أنواع الصمامات الهوائية تبعاً لشكل السدادة:

1. الصمامات الكروية:

هي صمامات تحكم ذات اتجاه واحد، ومن أكثر الأنواع استخداماً. تتمتاز بعدة أمور:

1) الاغلاق الجيد
2) الهبوط العالي بالضغط خلاله (high ΔP)
3) تحتاج الى مشغل صغير ويتحمل ΔP عالي.
4) يناسب درجات الحرارة العالية
5) يميل الى الانسداد.

Globe Valve Working Principle

2. الصمام البوابي:

وهو صمام تحكم ذو اتجاه واحد له بوابة تغلق وتفتح في اتجاه عمودي على اتجاه السريان، وينصح به في العمليات التي تحتاج الى فتح تام أو اغلاق تام.

3. صمام الفراشة

تمتاز بالاقتصادية وانسيابية التدفق مع هبوط قليل في الضغط وانخفاض احتمالية الانسداد. جزء التحكم بالتدفق قرص.

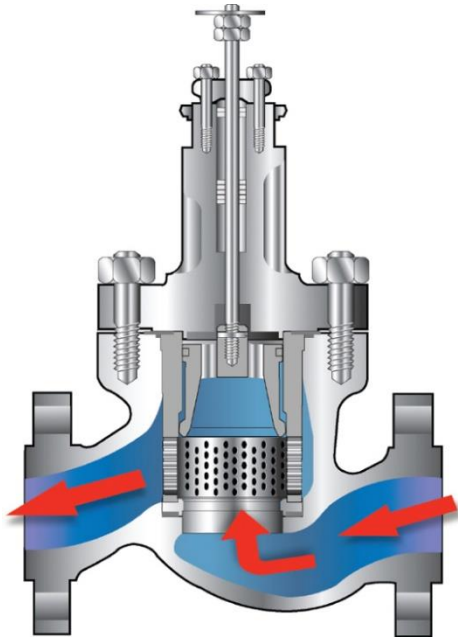
تعتبر مناسبة للموائع الطينية (slurry) ودرجات الحرارة العالية وتستعمل لتوفير ضغط منخفض.

4. صمام الكرة

يشبه صمام الفراشة ولكن جزء التحكم بالتدفق كروي الشكل.

يستعمل في الموائع الطينية (slurry) ودرجات الحرارة العالية وللمواد الليفية.

5. الصمام القفصي

يشبه الكروي من حيث التحكم بالتدفق من حيث التحكم بالتدفق عن طريق رفع أو خفض السدادة ولكنه يختلف في أن السدادة تتحرك داخل قفص ثابت مشقوق يتدفق المائع من خلاله.

** وفي جميع الأنواع يجب تصميم الصمامات بحيث تستوعب زيادة 20% من أقصى تدفق وهذا يعتبر نوع من السلامة في التصميم.

خصائص الجريان خلال صمام التحكم

عندما يمر سائل معين في صمام يحدث له انخفاض في الضغط ΔP . معدل تدفق السائل يعتمد على:

1) حجم صمام التحكم
2) ΔP خلال الصمام
3) موقع الساق (stem)
4) خصائص المائع.

الانخفاض في قيمة الضغط ΔP في الصمام قد يكون ثابتاً أو متغير. إذا كان:

- ΔP كبير في الصمام سيعطي مدى أكبر للتدفق والتحكم به
- ΔP صغير في الصمام فهذا يمثل طاقة ضائعة ولا فائدة منه.

ΔP في الصمام تتكون من انخفاض الضغط في خط الأنابيب وفي الصمام نفسه لذلك:

$$\Delta P = \Delta P_{line} + \Delta P_{valve}$$

اختيار الصمام الهوائي

هناك بعض الأمور التي يجب توفرها في الصمامات عند بنائها:

1. أن تتحمل درجات الحرارة الضغط للمائع المتدفق عبره
2. أن تطابق حوافها حواف الأنابيب التي ستوصل بها
3. الاغلاق المحكم بحيث تكون نسبة التسريب ضمن الحد المسموح به.
4. أن يتحمل جسم الصمام والسدادة الخصائص الكيميائية للمائع (وخاصة التآكل)
5. مراعاة سهولة الصيانة للصمام

حيث أن الهدف الرئيسي من الصمام هو التحكم بتدفق المائع فإن اختياره يتم بحيث يسمح بمرور التدفق الأقصى وأن لا يعمل فقط قريباً من وضع الاغلاق.

أمثلة على اختيار الصمامات:

1- نختار الصمامات متساوية النسب (*Equaled percentage*) في حالة:

أ) لا يكون الجزء الأكبر من هبوط الضغط في النظام على صمام التحكم

ب) يكون هبوط الضغط كبير عند تدفق صغير، وصغير عند التدفق العالي.

2- نختار الصمامات الخطية في حالة:

أ) إذا كان الهبوط في الضغط ΔP على الصمام ثابت.

3- نختار صمام الفراشة والصمام الكروي في حالة:

أ) الحاجة لتدفق كبير مع ΔP قليل على الصمام

4- نختار صمامات الفتح السريع (*Fast opening*) في حالة:

أ) الحاجة لفتح أو اغلاق سريع لمنفذ التدفق كما في تحكم (*On/ Off*)

ثانياً: صمامات التحكم الكهربائية أو الالكترونية (*Electric valves*)

في بعض الحالات عندما ينعدم الهواء المضغوط تستخدم الصمامات الكهربائية وهي أكثر كلفة من الصمامات الهوائية حيث تقدّر قيمتها حوالي 10 أضعاف. وتعمل عادة على تيار كهربائي ثابت قيمته (4 – 20 mA) وغالباً ما تكون الخيار الأخير من اختيار الصمامات لعمليات التحكم.

آلية العمل:

يوجد سلك كهربائي داخلي ينزلق بفعل الاشارة الكهربائية القادمة من جهاز التحكم الكهربائي مع مضخم الاشارة (Amplifier). تدخل الاشارة الى الصمام وتشغله وعادة يكون الوقت قصير جداً (1 -10 sec). يحتاج غالباً الى مشغّل كهربائي للعمل.

مميزاته:

1- يستعمل لمسافات طويلة تزيد عن 300 م (بعكس الصمام الهوائي)
2- لا يستعمل في السوائل الآكلة أو القابلة للاشتعال.
3- قد يسبب صدمات كهربائية
4- غالي السعر
5- صعب التركيب ولا يتحمل الصدمات.

**** مقارنة بين عملية التحكم الهوائي والتحكم الكهربائي.**

	التحكم الهوائي	التحكم الكهربائي
الاشارة المعيارية	3 -15 Psig	4 – 20 mA
مسافة النقل	100 ft	غير محدودة
قابلية الربط بالكمبيوتر	بحاجة لجهاز تحويل الاشارة الهوائية الى كهربائية	بسهولة
الاستجابة مع الزمن	بطيء لكن جيد	سريع
وجود موائع آكلة	ممتاز	سيء
قياس المتغيرات في العملية	يقيس بعضها بصعوبة	ممتاز
اذا انقطع التيار الكهربائي	ممتاز بسبب المدى الاضافي للأمان	غير جيد

مقارنة بين أجهزة التحكم (Controllers)

PID	PD	PI	P-only
استجابة سريعة	استجابة سريعة	زمن الاستجابة أكبر من استجابة التناسبي	زمن الاستجابة طويل
يعمل على تقليل الخطأ بشكل أسرع	يعمل على تقليل الخطأ بشكل أسرع	يلغي (Offset) خطأ	ينتج عنه (Offset) خطأ
يعمل على الغاء التذبذب بسرعة	يعمل على الغاء التذبذب	يبقى التذبذب واضحاً	يوجد تذبذب للاستجابة
في حالة حدوث خطأ مفاجئ لا يعمل الفعل التفاضلي	في حالة حدوث خطأ مفاجئ لا يعمل الفعل التفاضلي	في حالة حدوث خطأ مفاجئ يعمل فعل التكامل على تكرار الفعل التناسبي	في حالة حدوث خطأ مفاجئ تكون الاشارة الخارجة تناسبية فقط
التحكم بالتركيز والحرارة	التحكم بالضغط والمستوى والتركيز ودرجة الحرارة	التحكم في التدفق	التحكم بالمستوى والضغط